



Sandra Manuel Simaria Critérios Ambientais na Utilização de Materiais de
de Oliveira Lucas Construção



Sandra Manuel Simaria de Oliveira Lucas **Critérios Ambientais na Utilização de Materiais de Construção**

dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Gestão Ambiental Materiais e Valorização de Resíduos, realizada sob a orientação científica do Dr. Victor Miguel Carneiro de Sousa Ferreira, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro e co-orientação do Dr. João António Labrincha Batista, Professor Associado, com Agregação do Departamento de Engenharia Cerâmica e do Vidro da Universidade de Aveiro.

Dedico este trabalho aos meus pais, José e Silvina pelo apoio ao longo de todos estes anos, e ao Henrique pelo incentivo e ajuda.

o júri

presidente

Prof. Doutora Maria Isabel Aparício Paulo Fernandes Capela
Professora associada da Universidade de Aveiro

vogais

Prof. Doutor Said Jalali
Professor associado com agregação da Universidade do Minho
Prof. Doutor Victor Miguel Carneiro de Sousa Ferreira
Professor auxiliar da Universidade de Aveiro (Orientador)

agradecimentos

Professor Doutor Victor Ferreira, Universidade de Aveiro

Professor Doutor João Labrincha, Universidade de Aveiro

Professora Doutora Isabel Capela

Professor Doutor Said Jalali

Arquitecto Henrique Cunha

Engenheiro Hugo Borrego, Corticeira Amorim

Engenheiro Luís Silva, Weber Cimenfix

palavras-chave

Construção sustentável; Materiais de construção; Ambiente; Reciclagem.

resumo

A tomada de consciência em relação às alterações climáticas, à destruição da camada de ozono e à depleção de recursos naturais, levou a uma crescente preocupação com as consequências das actividades humanas no meio ambiente. O sector da construção é responsável por uma grande parte dos resíduos depositados em aterro, como consequência das actividades de construção, manutenção e utilização dos edifícios. A selecção dos materiais de construção tem um grande impacto na sustentabilidade de um edifício ao longo de todo o seu ciclo de vida.

Este trabalho tem por objectivo o desenvolvimento de um processo que contenha critérios ambientais para a selecção de materiais numa construção que se pretende sustentável. Procura-se perceber quais os critérios de selecção presentes numa série de ferramentas de análise de ciclo de vida, de modo a estabelecer uma metodologia de avaliação. Descrevem-se assim as principais ferramentas hoje utilizadas numa série de Países, enquadrando-as nos princípios genéricos da sustentabilidade do ambiente construído em termos dos materiais que são utilizados. Na fase final procura-se através de um estudo de caso dar corpo a à metodologia desenvolvida. A aplicação escolhida baseia-se na comparação de quatro materiais de isolamento térmico para fachadas pelo exterior (o sistema ETICS). Aplicados os critérios ambientais seleccionados e integrando as propriedades dos materiais em causa e o seu desempenho funcional, atinge-se uma pontuação de sustentabilidade que favorece claramente os materiais naturais face aos materiais sintéticos, correntemente usados nestas aplicações de isolamento.

keywords

Sustainable building, building materials, environment, recycling.

abstract

The awareness about climate changes, ozone layer depletion, and consumption of natural resources, is leading to a growing concern regarding the consequences of the human activities in the natural environment. The building industry sector is responsible for a considerable amount of land disposal of waste materials, as a consequence of construction, maintenance and building use. The selection of construction materials has a great impact in the building sustainability, during its entire life cycle. The objective of this work is to develop a process that contains a set of environmental criteria for the selection of building materials for a sustainable construction. It aims to understand the selection criteria present in a series of sustainability and life cycle assessment tools, in order to establish an evaluation methodology. The main tools used in several countries or regions are here described and fitted with the built environment sustainability principles in terms of used materials. In the last chapter a case study is presented in order to test the developed methodology. The chosen application is based on the comparison of four materials for the same function or application, the thermal insulation of an external façade (the ETICS system). After the application of the selected environmental criteria and integrating the materials properties and functional performance, a sustainability scale is achieved that favours the natural materials over the synthetic ones, currently used in this application.

Índice

LISTA DE FIGURAS.....	3
LISTA DE TABELAS.....	4
1 INTRODUÇÃO.....	5
1.1. OBJECTIVO DA TESE.....	5
1.2. ESTRUTURA DA TESE.....	6
2 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO.....	7
3 CRITÉRIOS AMBIENTAIS PARA A SELECÇÃO DE MATERIAIS NA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL.....	12
4 METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO E SELECÇÃO DE MATERIAIS PARA A CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL.....	20
4.1. A ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DE MATERIAIS.....	20
4.2. FASES DE UMA ANÁLISE DE CICLO DE VIDA.....	23
4.2.1 DEFINIÇÃO DO(S) OBJECTIVO(S) E ÂMBITO DE APLICAÇÃO.....	23
4.2.2 FASE DE INVENTÁRIO.....	26
4.2.3 ANÁLISE DO IMPACTO NO CICLO DE VIDA.....	28
4.2.4 INTERPRETAÇÃO DO CICLO DE VIDA.....	29
4.3. SISTEMAS DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DOS EDIFÍCIOS, MATERIAIS E PRODUTOS.....	29
4.3.1 FERRAMENTAS DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL – SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO.....	32
4.3.1.1 GBTOOL.....	32
4.3.1.2 BREEAM (BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT ENVIRONMENTAL ASSESSMENT METHOD).....	35
4.3.1.3 LEED (LEADERSHIP IN ENERGY AND ENVIRONMENTAL DESIGN).....	38
4.3.1.4 CASBEE (COMPREHENSIVE ASSESSMENT SYSTEM FOR BUILDING ENVIRONMENTAL EFFICIENCY).....	41
4.3.1.5 LIDERA (SISTEMA PORTUGUÊS DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE EDIFÍCIOS).....	45
4.3.2 FERRAMENTAS DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL – SISTEMAS DE ANÁLISE DO CICLO DE VIDA.....	47
4.3.2.1 ATHENA (GREEN BUILDING CHALLENGE, GBC).....	47
4.3.2.2 ECO-QUANTUM.....	48
4.3.2.3 BEES (BUILDING FOR ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC SUSTAINABILITY).....	50
4.3.2.4 SIMAPRO 7.....	53
4.3.3 COMPARAÇÃO DOS SISTEMAS.....	54
4.3.4 OUTRAS FERRAMENTAS DE AVALIAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE.....	59
5 ESTUDO DE UM CASO DE APLICAÇÃO DE UM SISTEMA DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE MATERIAIS A SOLUÇÕES DE ISOLAMENTO TÉRMICO.....	62
5.1. DESCRIÇÃO DO SISTEMA A ESTUDAR.....	62
5.1.1 ISOLAMENTO TÉRMICO DE FACHADAS PELO EXTERIOR (ETICS).....	63
5.1.2 MATERIAIS PARA ISOLAMENTO TÉRMICO DE FACHADAS.....	64
5.2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL.....	68
5.3. ESTUDO DE CASO: ESTUDO COMPARATIVO DO SISTEMA ETICS.....	69

5.3.1	DESEMPENHO AMBIENTAL DOS MATERIAIS DE ISOLAMENTO CONSIDERADOS NO ESTUDO DE CASO	69
5.3.2	AVALIAÇÃO DOS MATERIAIS SEGUNDO OS CRITÉRIOS AMBIENTAIS DEFINIDOS	74
5.3.3	ESTUDO COMPARATIVO DA SOLUÇÃO ETICS COM O SISTEMA DE PAREDE DUPLA COM ISOLAMENTO TÉRMICO.....	78
6	CONCLUSÕES.....	88
7	REFERÊNCIAS	91
7.1.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91
7.2.	PÁGINAS DA INTERNET	97

Lista de figuras

FIGURA 1 - TRÊS DIMENSÕES DA SUSTENTABILIDADE [DAVIS ET AL., 2000]	7
FIGURA 2 - TRÊS DIMENSÕES DA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL [DAVIS ET AL. 2000]	10
FIGURA 3 – BALANÇO DE IMPACTOS AMBIENTAIS NA PRODUÇÃO DE UM MATERIAL [PAULSEN, 2001; BORG, 2001]	21
FIGURA 4 - RELAÇÃO ENTRE AS FASES DE UMA ANÁLISE DE CICLO DE VIDA (ACV) [PAULSEN, 2001; BORG, 2001]	22
FIGURA 5 - DIAGRAMA DE FLUXO DE UM SISTEMA GENÉRICO [FERREIRA, 2004].....	27
FIGURA 6 - NÍVEIS DE AVALIAÇÃO DE IMPACTOS NUM EDIFÍCIO [DING, 2007; GU, 2006]	30
FIGURA 7 - HTTP://GREENBUILDING.CA/IISBE/SBC2K8/SBC2K8-START.HTM	32
FIGURA 8 - HTTP://WWW.BREEAM.ORG/INDEX.JSP	36
FIGURA 9 - WWW.USGBC.ORG/LEED	38
FIGURA 10 - HTTP://WWW.IBEC.OR.JP/CASBEE/ENGLISH/INDEX.HTM	42
FIGURA 11 - HTTP://WWW.LIDERA.INFO/APRESENTACAO_PORTUGUES.HTML	45
FIGURA 12 - HTTP://WWW.IBEC.OR.JP/CASBEE/ENGLISH/INDEX.HTM	47
FIGURA 13 - HTTP://WWW.SBR.NL/DEFAULT.ASPX?CTID=2322	49
FIGURA 14 - HTTP://WWW.BFRL.NIST.GOV/OAE/SOFTWARE/BEES/	50
FIGURA 15 - HTTP://WWW.PRE.NL/SIMAPRO/DEFAULT.HTM	53
FIGURA 16 - ESTRUTURA DE UMA FACHADA ETICS	63
FIGURA 17 - DIVERSAS APLICAÇÕES DO POLIESTIRENO NUMA HABITAÇÃO.....	64
FIGURA 18 - APLICAÇÃO DO AGLOMERADO DE CORTIÇA NUMA FACHADA ETICS	66
FIGURA 19 - DESEMPENHO AMBIENTAL, SOMATÓRIO DAS EMISSÕES PARA AR, ÁGUA E SOLO.....	70
FIGURA 20 – ENERGIA INCORPORADA NA PRODUÇÃO DOS MATERIAIS ESTUDADOS.....	70
FIGURA 21 – EFICÁCIA DO ISOLAMENTO EM FUNÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA DOS MATERIAIS ESTUDADOS ..	71
FIGURA 22 - ANÁLISE COMPARATIVA DA PONTUAÇÃO OBTIDA PARA OS MATERIAIS ESTUDADOS	78
FIGURA 23 - ESQUEMA DO EDIFICADO COM AS PAREDES ANALISADAS NO ESTUDO DE CASO: A) PAREDE DUPLA TRADICIONAL B) PAREDE COM SISTEMA ETICS	79
FIGURA 24 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA PAREDE DUPLA	80
FIGURA 25 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE UMA PAREDE ETICS.....	81
FIGURA 26 - ENERGIA INCORPORADA NAS PAREDES ESTUDADAS.....	82
FIGURA 27 – IMPACTO AMBIENTAL PARA CADA UMA DAS SOLUÇÕES EM ESTUDO	82
FIGURA 28 - ENERGIA CONSUMIDA EM CADA UMA DAS SOLUÇÕES	83
FIGURA 29 - VALORES DO COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA	84
FIGURA 30 - RESULTADOS DA AVALIAÇÃO SEGUNDO OS CRITÉRIOS AMBIENTAIS DEFINIDOS NO CAPÍTULO 3.	86

Lista de tabelas

TABELA 1 – CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO E RESPECTIVOS SUBCRITÉRIOS DO SBTOOL	34
TABELA 2 - TABELA DE PONTUAÇÃO DOS CRITÉRIOS AVALIADOS PARA O SBTOOL	35
TABELA 3 - DESCRIÇÃO DOS CRITÉRIOS AVALIADOS NO BREEAM [COLE, 2000; GU, 2006]	37
TABELA 4 - PONTUAÇÃO DE CRITÉRIOS DO LEED	40
TABELA 5 - REQUISITOS MÍNIMOS DO EDIFÍCIO	41
TABELA 6 - CRITÉRIOS PARA O GRUPO: QUALIDADE AMBIENTAL E DESEMPENHO DO EDIFÍCIO DE ACORDO COM O CASBEE	43
TABELA 7 - CRITÉRIOS PARA O GRUPO: REDUÇÃO CARGAS AMBIENTAIS DO EDIFÍCIO DE ACORDO COM A FERRAMENTA CASBEE	44
TABELA 8 - SÍNTESE DOS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DO LIDERA [PINHEIRO, 2007]	46
TABELA 9 - CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DO SISTEMA ATHENA	48
TABELA 10 - CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DO Eco-QUANTUM.....	49
TABELA 11 - CRITÉRIOS DO SISTEMA BEES	52
TABELA 12 - CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DO SISTEMA SIMAPRO.....	54
TABELA 13 - COMPARAÇÃO ENTRE OS SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO DE EDIFÍCIOS	57
TABELA 14 - COMPARAÇÃO ENTRE OS SISTEMAS DE ANÁLISE DE CICLO DE VIDA	58
TABELA 15 - PARÂMETROS PARA OS INDICADORES MARS-SC [MATEUS ET. AL., 2006]	60
TABELA 16 - PESO DE CADA INDICADOR NA MARS-SC	61
TABELA 17 - PROPRIEDADES DO XPS (FONTE: DOW PORTUGAL)	65
TABELA 18 - PROPRIEDADES DO EPS (FONTE: ACEPE)	65
TABELA 19 - PROPRIEDADES DO AGLOMERADO DE CORTIÇA (FONTE: GRUPO AMORIM)	67
TABELA 20 - CARACTERÍSTICAS DA LÃ DE ROCHA (FONTE:)	67
TABELA 21 – RESUMO DAS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS DE ISOLAMENTO [WILSON ET TAL 2005]	73
TABELA 22 - LISTAGEM DOS CRITÉRIOS DE SELECÇÃO (CAPÍTULO 3).....	74
TABELA 23 - SISTEMA DE PONTUAÇÃO DOS CRITÉRIOS AMBIENTAIS.....	74
TABELA 24 - CORRESPONDÊNCIA ENTRE CRITÉRIOS E SUBCRITÉRIOS	75
TABELA 25 - RESULTADOS DA AVALIAÇÃO PARA O POLIESTIRENO EXTRUDIDO	76
TABELA 26 - RESULTADOS DA AVALIAÇÃO PARA O POLIESTIRENO EXPANDIDO	76
TABELA 27 - RESULTADOS DA AVALIAÇÃO PARA O AGLOMERADO DE CORTIÇA	77
TABELA 28 - RESULTADOS DA AVALIAÇÃO PARA A LÃ DE ROCHA	77
TABELA 29 - RESULTADOS DA AVALIAÇÃO PARA UMA PAREDE DUPLA COM ISOLAMENTO DE POLIESTIRENO EXTRUDIDO	84
TABELA 30 - RESULTADOS DA AVALIAÇÃO PARA UMA PAREDE DUPLA COM ISOLAMENTO DE CORTIÇA.....	85
TABELA 31 - RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DE UMA PAREDE ETICS COM ISOLAMENTO DE POLIESTIRENO EXTRUDIDO	85
TABELA 32 - RESULTADOS DA AVALIAÇÃO PARA UMA PAREDE ETICS COM ISOLAMENTO DE CORTIÇA.....	86

1 Introdução

Nas últimas décadas a preocupação da humanidade com o futuro do planeta e dos seus recursos naturais tem aumentado, fruto de uma maior consciência dos efeitos que as actividades humanas têm sobre o meio ambiente. A diminuição das reservas de combustíveis fósseis e os efeitos sentidos no clima, consequência do aumento dos gases de efeito de estufa, actuou como principal instigador de uma discussão que se iniciou na década de 90 do século passado e que se prolongou até aos dias de hoje. Uma sociedade mais informada despertou para um problema que pode colocar em causa a qualidade de vida das gerações actuais e principalmente das gerações futuras. Existe hoje uma preocupação crescente com os recursos que serão deixados às gerações vindouras, para que tenham uma qualidade de vida superior ou similar à actual.

A análise dos problemas ambientais é um processo vasto e complexo. O rápido crescimento da população mundial e as suas actividades económicas estão a levar a uma degradação do ecossistema, com a contaminação e o esgotamento dos recursos naturais. As actividades humanas resultaram em alterações climáticas resultantes dos gases de efeito de estufa, contaminação das águas, solo e ar, desflorestação, desaparecimento de espécies animais e vegetais, etc. Uma das soluções é reduzir o impacto destas actividades e atrasar os seus efeitos negativos. Esta é a base do desenvolvimento sustentável.

1.1. Objectivo da Tese

É objectivo desta tese dar um contributo para o esclarecimento sobre quais os critérios ambientais a considerar para a selecção de materiais para uma construção mais sustentável. São também analisados os principais métodos e ferramentas existentes para aplicação destes critérios, sendo depois testado um dos métodos através da sua aplicação a um caso concreto de um sistema para

isolamento de fachadas (ETICS), onde são comparados diferentes materiais de isolamento.

1.2. Estrutura da Tese

Este trabalho encontra-se dividido em três fases distintas.

Numa primeira parte é feito um enquadramento do trabalho, descrevendo os conceitos de sustentabilidade, construção sustentável e os critérios ambientais para a selecção de materiais.

Na segunda parte são analisadas e exploradas algumas ferramentas que visam auxiliar no processo de selecção de materiais segundo os critérios anteriormente referidos.

Por fim, na terceira parte, uma das ferramentas analisadas, considerada a mais adequada, será aplicada a um estudo de caso concreto. Neste estudo de caso são comparadas diferentes soluções de isolamento térmico, com materiais distintos, para um sistema de isolamento térmico de fachadas pelo exterior (ETICS).

2 Sustentabilidade na Construção

Existem centenas de definições diferentes de sustentabilidade, dependendo do autor ou do país. No presente trabalho adoptou-se a definição que mais frequentemente é citada, datada de 1987 e foi emanada pela WCED (World Commission of Environment and Development) na Assembleia Geral da Nações Unidas, no também conhecido por Relatório Brundtland [Nações Unidas, 1987]. Este relatório trata do desenvolvimento sustentável e das medidas que devem ser adoptadas para o conseguir. Segundo este relatório a humanidade pode permanecer indefinidamente no planeta se conseguir garantir três aspectos fundamentais (figura 1): o progresso da humanidade (dimensão económica), desenvolvimento cultural (dimensão social), e que os efeitos destas actividades observem limites que evitam a destruição da vida e diversidade dos ecossistemas (dimensão ecológica) [Nações Unidas, 1987; Kibert, 1994].

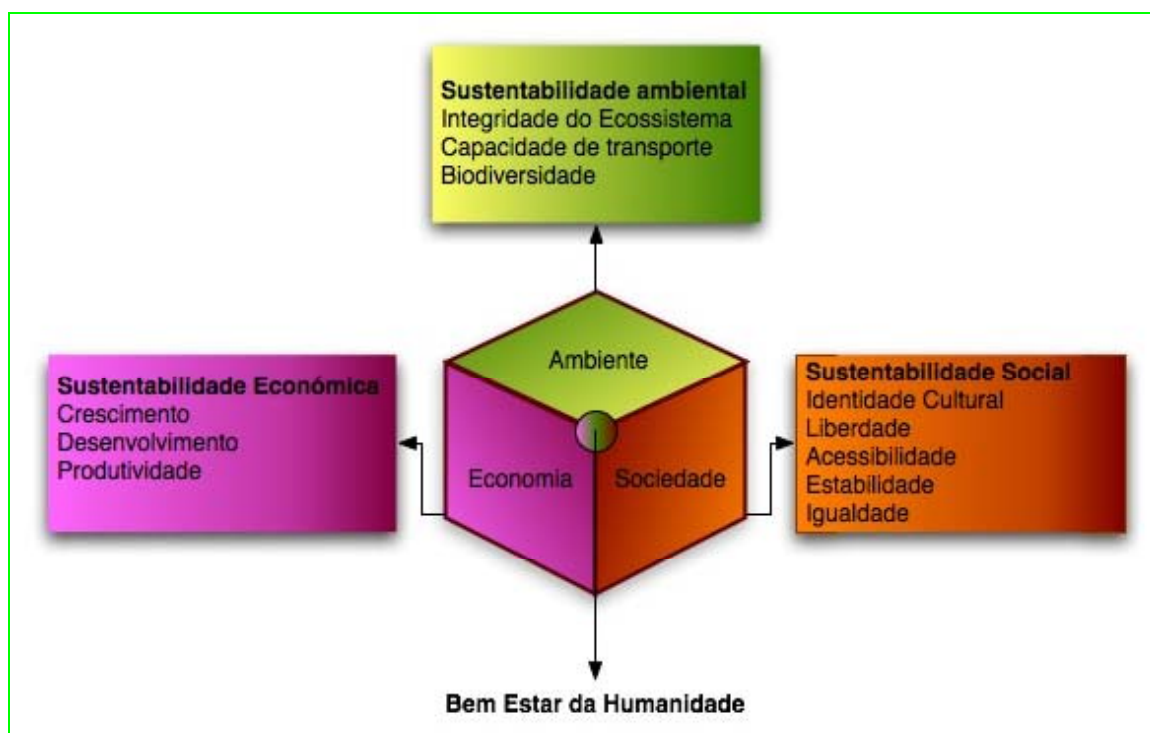


Figura 1 - Três dimensões da sustentabilidade [Davis et al., 2000]

Deste texto resulta uma definição de desenvolvimento sustentável, como sendo aquele que garante a satisfação das necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem também as suas próprias necessidades. Este princípio considera que as futuras gerações têm o direito a pelo menos a mesma qualidade de vida gozada pelas gerações actuais. Como resultado das orientações constantes deste relatório surgiu um conjunto de obrigações a adoptar pelas nações, que foram compiladas e redigidas pelas Nações Unidas na Agenda 21 [Nações Unidas, 1987; Sjoström, 1999].

Estes princípios podem ser enquadrados em praticamente toda a actividade humana, principalmente naquelas que têm impacto directo no ambiente, como é o caso do sector da construção.

Dada a influência que este sector tem na economia e no ambiente, é de elevada importância a aplicação dos princípios da sustentabilidade nas actividades com ele relacionadas, bem como nos materiais usados pela indústria da construção.

O sector da construção é responsável pelo consumo de recursos naturais não renováveis, gera grandes quantidades de resíduos e provoca a contaminação da água, ar e solo. O impacto dos edifícios no ambiente não se limita apenas à sua fase de construção, os efeitos ambientais prolongam-se por toda a vida útil do edifício até à sua desconstrução ou demolição.

Quando se fala de construção sustentável, fala-se de uma nova forma de planear, desenhar, construir e manter os edifícios. O principal objectivo é continuar a satisfazer as necessidades humanas e simultaneamente proteger o ecossistema. Passa pela escolha de materiais e produtos que apresentem um elevado desempenho, e simultaneamente um menor dano para o ambiente.

Da mesma forma que existem inúmeras definições de sustentabilidade, também existem muitas definições de construção sustentável. Em 1994 a CIB (Conseil International du Bâtiment) definiu o objectivo da construção sustentável como sendo a criação e manutenção de um edifício saudável baseado na eficiência de recursos e no design ecológico. Trata-se de uma definição muito lata que abrange todo o ciclo de vida do edifício desde a fase de concepção até à sua desconstrução [Kibert, 2005; CIB, 1998].

O projecto de uma habitação de acordo com princípios de sustentabilidade começa logo na fase de concepção do edifício, onde um conjunto de decisões relacionadas com, por exemplo, a localização da construção, a sua orientação solar e a escolha de materiais e produtos, têm que ser tomadas. As consequências destas decisões reflectem-se nas etapas seguintes da vida da edificação: construção, manutenção, utilização e desconstrução.

Sendo assim o design do edifício deve [Landman, 2001]:

- Ser aberto, para permitir alterações sem excessivo trabalho de construção;
- Contemplar tecnologias de construção compatíveis com as normas;
- Separar o que é estrutural do que é revestimento;
- Permitir o acesso a todos os componentes do edifício;
- Usar materiais que servem a função a que se destinam;
- Criar mecanismos que permitam o manuseamento dos componentes durante a desconstrução;
- Projectar de acordo com a esperança de vida da construção;
- Facilitar a reciclagem e reutilização dos materiais;
- Proporcionar uma boa identificação dos componentes.

A construção sustentável utiliza tecnologias e materiais eficientes do ponto de vista do consumo de recursos, que não comprometem o ambiente e que contribuem para o bem-estar dos seus ocupantes [Landman, 2001; Landman, 1999; Hill, 1997].

Os edifícios denominados sustentáveis têm em consideração a interligação que existe entre a escolha do local, os elementos de desenho, as condicionantes do ponto de vista dos recursos energéticos, a funcionalidade do edifício e as condicionantes económicas.

A construção sustentável segue as mesmas etapas que a construção tradicional, a grande diferença é que em todas as fases se procuram integrar os princípios da sustentabilidade. Nenhuma etapa é considerada estanque ou independente das

restantes, mas as opções tomadas em cada uma delas têm impacto no objectivo final de construir um edifício sustentável.

Da mesma forma que a sustentabilidade, a construção sustentável assenta nas mesmas três dimensões: a dimensão ecológica, a dimensão económica e a dimensão social [Mateus et. al., 2006]. A figura 2 apresenta essas três vertentes de forma esquemática.

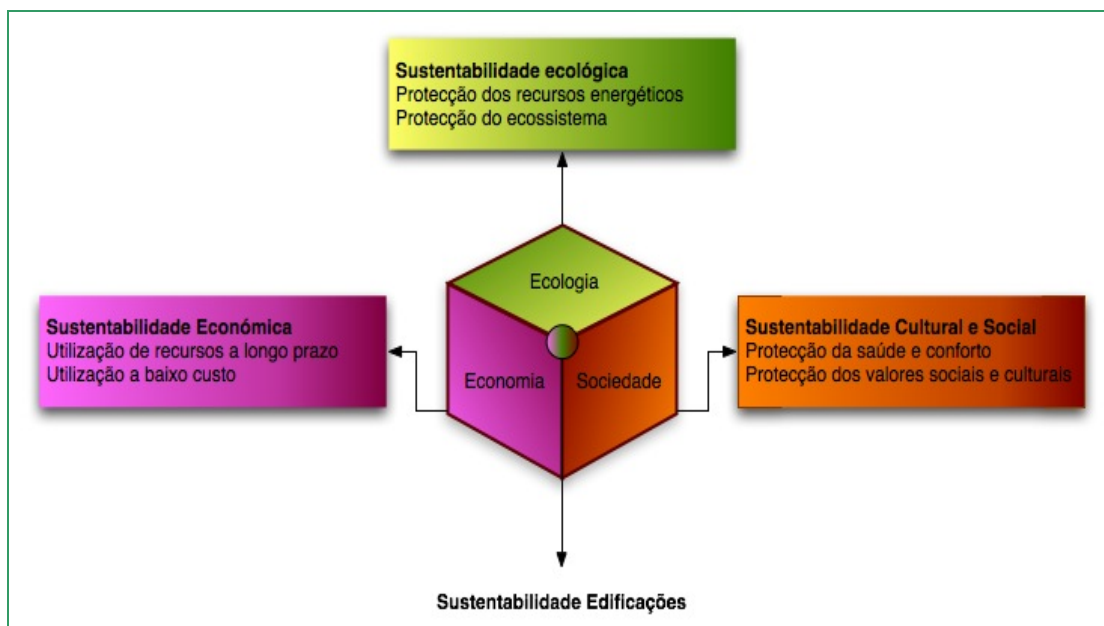


Figura 2 - Três dimensões da construção sustentável [Davis et al. 2000]

As construções sustentáveis apresentam, entre outras vantagens, a redução de custos sobretudo durante a sua fase de utilização [Jesus, 2007].

Estas reduções são alcançadas através de:

- Maior eficiência energética,
- Redução do consumo de água,
- Redução dos custos de construção, operação, manutenção e demolição,
- Aumento da durabilidade das construções.

De uma forma geral, o sector da construção é responsável pela produção de grandes quantidades de resíduos, que têm que ser reciclados, reutilizados ou

tratados. Uma grande parte dos recursos naturais consumidos nos países industrializados destina-se à indústria da construção civil. Os edifícios são também grandes consumidores de energia para, entre outras, satisfazer as necessidades de climatização. Na construção sustentável um dos grandes objectivos é manter um elevado desempenho do edifício ao longo do seu tempo de vida, com o mínimo consumo de energia e materiais, procurando o menor impacto possível no meio ambiente [Pulselli et al., 2007; Ding, 2007].

Em Portugal ainda se estão a dar os primeiros passos no sentido da implementação dos princípios da sustentabilidade no sector da construção. Há uma sensibilização crescente dos actores envolvidos nesta fileira para as consequências que as suas actividades e decisões têm no ambiente. No entanto, e tendo em linha de conta a evolução do sector da construção nos últimos anos, o seu rápido crescimento demonstra que é urgente começar a construir de forma sustentável.

Para isso, não basta os técnicos e especialistas ligados a esta área estarem alerta para os problemas ambientais associados ao sector da construção e informados das técnicas para tornar uma construção sustentável. É também necessário que esteja disponível toda a informação, nomeadamente sobre materiais (classificação e avaliação), para que seja possível uma escolha mais informada e ambientalmente correcta, sem que isso signifique um aumento dos custos e grandes atrasos na execução dos projectos.

É importante que a análise não se restrinja apenas ao sector da construção mas a toda a fileira de suporte, fileira do habitat. De facto, a análise do ciclo de vida de uma construção necessita de informações que provêm da actividade extractiva, passa pela indústria transformadora de materiais para a construção, atinge o próprio subsector e vai para além dele, por exemplo, abrangendo também as indústrias de fornecimento de bens e equipamentos para a construção.

3 Critérios Ambientais para a Selecção de Materiais na Construção Sustentável

A selecção de materiais é um dos importantes e complexos desafios que qualquer equipa encarregada do projecto de uma habitação sustentável tem que enfrentar. Por causa do impacto que os materiais têm no ambiente (na fase de produção, utilização e fim de vida), as decisões com eles relacionadas são de particular importância pelas consequências que daí resultam.

A ausência de consenso sobre que critérios definem um material como sustentável torna o seu processo de selecção complexo, arbitrário, demorado e dispendioso, dada a inexistência de uma base de dados de materiais de construção, onde estes se encontrem classificados segundo um conjunto de critérios padrão.

Uma das dificuldades com que se depara quem tem que seleccionar materiais ecológicos para a construção é a de, muitas vezes, apesar dos materiais serem funcionalmente equivalentes, apresentarem perfis ambientais muito distintos. Uma situação ilustrativa corresponde a uma comparação entre um material com origem num recurso renovável, mas sem conteúdo reciclado, com outro que, apesar de proveniente de um recurso não renovável, incorpora na sua produção materiais provenientes de processos de reciclagem.

Tem-se revelado difícil estabelecer critérios universais aplicáveis a todos os materiais de construção em todas as aplicações, mas apesar desta dificuldade é possível estabelecer um conjunto de critérios gerais que podem servir de guias para orientar a avaliação e selecção dos materiais no contexto de um determinado projecto. É tão importante a forma como os materiais são utilizados como a identificação e selecção dos mesmos. É possível aplicar materiais ecológicos de forma incorrecta, não alcançando nenhum benefício ambiental com a sua utilização. Em contrapartida, alguns materiais convencionais, que avaliados à luz destes critérios não podem ser considerados ecológicos, podem ser aplicados de maneira a permitirem a um edifício alcançar com a sua utilização alguns benefícios ambientais. Apresentam-se, em seguida, estes critérios numa sequência que não pretende definir prioridades dado que nenhum deles pode ser considerado

isoladamente. Os critérios apresentados resultam da consulta de trabalhos de diversos autores e da consulta do guia de materiais para a construção sustentável GreenSpec Guide [Kibert, 2005; Diógenes, 2006; Wilson, 2000; Halada, 2006].

MATERIAIS QUE NÃO AFECTAM A SAÚDE DOS UTILIZADORES DOS EDIFÍCIOS

A maior parte dos materiais de construção são inertes, e não afectam a saúde humana. Muitos são usados de forma encapsulada, não havendo por isso contacto directo com os habitantes. No entanto, ao nível dos materiais usados nos acabamentos interiores, podem existir impactos negativos na saúde, segurança e conforto dos utilizadores. Alguns materiais podem libertar substâncias perigosas para a saúde humana durante dias, meses ou até anos após a sua aplicação, devendo ser evitados. É o caso de algumas tintas utilizadas no interior, que podem ser responsáveis pela libertação de substâncias tóxicas. Noutras situações, certos materiais podem ajudar a melhorar os níveis de qualidade do ar no interior da habitação, contribuindo assim para uma melhor qualidade de vida dos utilizadores dos edifícios. Alguns selantes são aplicados para evitar a entrada de substâncias perigosas no interior das habitações [GreenSpec Guide, 2005].

MATERIAIS QUE AUMENTAM A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO EDIFÍCIO

Um dos componentes com mais peso na sustentabilidade é o consumo energético de um edifício durante a sua utilização, no seu período de vida útil. Esta energia, denominada aqui de energia operativa, é a energia consumida nos sistemas de aquecimento, arrefecimento, iluminação, etc. Este consumo depende muito do desempenho térmico do edifício, e é de particular importância a escolha dos materiais como os de isolamento até ao tipo de vidros que vão ser aplicados na construção, pois estes podem contribuir para uma redução significativa da energia consumida. Em algumas situações o elevado contributo de alguns materiais para o desempenho energético pode justificar a sua selecção, mesmo quando estes não satisfazem outros critérios aqui mencionados. Os benefícios ambientais da redução de energia gerada pela sua utilização pode compensar os impactos negativos associados à natureza do material em questão. Idealmente os materiais devem

contribuir para a satisfação de todos os critérios ambientais. A utilização de poliestireno extrudido como isolamento térmico, material que tem uma elevada energia incorporada e é difícil de reciclar, pode apresentar vantagens se a sua aplicação conduzir a uma elevada redução da energia consumida na climatização do edifício [GreenSpec Guide, 2005].

MATERIAIS COM BAIXA ENERGIA INCORPORADA E DE FÁCIL PROCESSAMENTO

Entende-se por energia incorporada, a energia consumida durante a extracção das matérias-primas, produção e transporte do material até ao local de construção e na sua instalação. Esta energia pode ser medida e comparada para diversos materiais, devendo dar-se prioridade ao uso dos que apresentam os valores mais baixos. Materiais com menor energia incorporada, principalmente quando esta é proveniente de fontes renováveis contribuem para uma diminuição do consumo de combustíveis fósseis. Os materiais reciclados apresentam valores mais baixos de energia incorporada do que os materiais equivalentes sem conteúdo reciclado. Também os materiais naturais têm níveis de energia incorporada mais baixos, tendo em conta que são processados de forma menos intensiva do que os materiais sintetizados. Em Portugal, a utilização da cortiça no isolamento de fachadas e no pavimento pode apresentar-se como uma alternativa aos materiais tradicionais, que contêm muito mais energia incorporada [GreenSpec Guide, 2005, Kibert 2005].

MATERIAIS COM ELEVADA DURABILIDADE E REDUZIDA NECESSIDADE DE MANUTENÇÃO

A utilização de materiais que se tornam obsoletos a curto prazo ou que exigem frequentes e complicadas operações de manutenção multiplicam os impactos ambientais negativos associados a um edifício. A repetida substituição e manutenção obriga à utilização de novos materiais, aumenta a geração de resíduos, com os materiais substituídos. Ao contrário, a utilização de materiais com elevada durabilidade contribui para uma redução dos custos associados com a manutenção do edifício. Os materiais cerâmicos apresentam elevada durabilidade apresentando-se como uma boa opção para o piso de edifícios

públicos porque são fáceis de limpar e têm elevada resistência ao desgaste, não necessitando de ser substituídos a curto prazo [GreenSpec Guide, 2005].

REDUÇÃO DO CONSUMO DE MATERIAIS E ELIMINAÇÃO DE MATERIAIS ACESSÓRIOS

Em algumas situações é possível reduzir a quantidade de materiais utilizada no acabamento de um edifício. É exemplo disso a substituição de materiais de acabamento, que têm uma finalidade meramente estética, pelo material de suporte, que tratado de forma adequada, pode tornar-se o acabamento. A adição de pigmentos ao betão pode eliminar a necessidade de colocação de outro material num piso [GreenSpec Guide, 2005].

MATERIAIS RECUPERADOS

Quando os edifícios chegam ao fim da sua vida útil, muitos dos materiais que os constituem ainda se encontram em bom estado, podendo ser retirados e aproveitados em novas edificações. Este conceito de recuperação pode ser alargado ao próprio edifício. Quando é tomada a decisão de renovar um edifício, em vez de o demolir para construir um novo, este está essencialmente a ser reutilizado. Embora algum material tenha sempre que ser removido, a maior parte da estrutura é mantida. A reutilização e recuperação de materiais e edifícios reduz os impactos ambientais associados à extracção de matérias-primas e à produção de novos produtos, contribuindo também para evitar o aumento de resíduos depositados em aterro. Ao realizar novos projectos devem seleccionar-se materiais que ao ser aplicados não comprometam a sua remoção, ou seja, que facilitem a desconstrução [GreenSpec Guide, 2005; Kibert 2005]. Neste caso os materiais compósitos são indesejáveis, a não ser que cumpram alguma função específica, e nesse caso as vantagens da sua aplicação compensam as eventuais dificuldades na separação e reciclagem no fim de vida [Eires et al, 2006].

MATERIAIS COM ORIGEM EM RECURSOS RENOVÁVEIS

Os materiais com origem em recursos que se renovam a uma taxa superior à de exploração são preferíveis aos que contribuem para a depleção de recursos, como

são os materiais consumidores de derivados dos combustíveis fósseis. Os materiais com origem em recursos renováveis (ciclos de renovação inferiores a 10 anos) são, a maior parte das vezes biodegradáveis e têm baixa emissão de COV's (compostos orgânicos voláteis). Estes materiais permitem fechar completamente o seu ciclo de vida, tendo em conta que no fim de vida podem ser reciclados por processos orgânicos. Incluem-se nesta categoria os materiais feitos a partir do bambu ou da cortiça [GreenSpec Guide, 2005; Kibert 2005].

MATERIAIS RECICLADOS E RECICLÁVEIS

Materiais de construção reciclados são todos os que são produzidos, na totalidade ou em parte, com componentes recolhidos em processos de separação, numa fase pós-consumo. Em alguns casos a reciclagem leva à produção de novos materiais com características equivalentes aos que lhe deram origem (é o caso do alumínio). No entanto, em muitas situações, os materiais só podem ser reciclados para um nível de utilização inferior ao original, e assim este processo ocorre uma única vez. É exemplo disso a incorporação de resíduos de pneus na composição de materiais de construção, tais como cimentos ou tijolos [Camões et al., 2005].

Apesar de, do ponto de vista meramente tecnológico, ser possível reciclar a maioria dos materiais, nem sempre essa reciclagem é realizada. Para decidir se é ou não viável reciclar um dado material ou produto deve considerar-se a facilidade do processo de separação e recolha, bem como a localização da instalação onde será feita a reciclagem e o tipo de processo envolvido. Para alguns materiais os custos de transporte e o tipo de processo não justificam a sua reciclagem, sendo menos prejudicial para o ambiente a opção de utilizar materiais novos [GreenSpec Guide, 2005, Kibert 2005].

MATERIAIS COM BAIXA EMISSÃO DE POLUENTES PARA O AMBIENTE

É importante considerar as emissões que um dado material liberta para o ar, água e solo durante a sua produção, utilização e manutenção.

Algumas das substâncias libertadas (CFC's, HCFC's, COV's, etc.) são responsáveis pelo aquecimento global e destruição da camada de ozono; outras, como o

mercúrio e o chumbo, podem poluir a água e os solos, sendo muito perigosas para a saúde das populações. Os poliestirenos, muito utilizados no isolamento térmico de edifícios, já são produzidos com produtos livres destas substâncias [GreenSpec Guide, 2005, Kibert 2005].

MATERIAIS PRODUZIDOS LOCALMENTE

Os materiais de origem local reduzem a poluição e o consumo de energia associados ao transporte para o local da obra. Além disso, contribuem para o desenvolvimento da economia local, o que também é um factor importante tendo em conta a dimensão social e económica da construção sustentável. Em Portugal a cortiça é um exemplo de um material produzido localmente e que apresenta grandes vantagens na sua aplicação, conjugando os benefícios ambientais com o contributo que o seu consumo dá para a economia do país [GreenSpec Guide, 2005, Kibert 2005].

Mesmo depois de estabelecidos e definidos estes critérios, a selecção de materiais continua a ser um processo complexo. Não é possível a nenhum material cumprir com todos os requisitos indicados e sendo assim, o que se faz é escolher pesando e avaliando, para cada caso as alternativas disponíveis, seleccionando o que globalmente apresenta o melhor desempenho ambiental à luz destes critérios.

Para ajudar neste processo têm surgido por todo o mundo ferramentas de avaliação, que pretendem, através de um processo mais ou menos simples, auxiliar investigadores e técnicos ligados ao sector da construção a fazer uma escolha mais adequada e informada [Kibert 2005].

Em conclusão, estes princípios devem aplicar-se a todos os grupos de materiais utilizados na construção: plásticos, cerâmicos, metais, materiais naturais e compósitos [Kibert, 2005; Diógenes, 2006; Wilson, 2000].

PLÁSTICOS

São feitos a partir de recursos naturais não renováveis (petróleo), a sua produção requer uma quantidade considerável de energia e causa emissões de poluentes

para a atmosfera. Durante a sua aplicação e utilização não representam nenhum risco grave para o ambiente e saúde humana, no entanto alguns podem libertar substâncias perigosas (por exemplo compostos orgânicos voláteis, COVs). Um dos grandes problemas relacionados com estes materiais ocorre durante a fase de demolição, dado que a maioria não podem ser reutilizados ou reciclados. A excepção são alguns polímeros e poliestirenos, denominados termoplásticos, que já podem ser reciclados com sucesso.

CERÂMICOS

São dos materiais com mais durabilidade e com muito baixas emissões para o ambiente após a sua aplicação (contribuindo para uma boa qualidade do ar interior). Apresentam poucas exigências de manutenção, são fáceis de limpar, têm baixa absorção e suportam o desgaste provocado pela utilização. Por causa das temperaturas elevadas, necessária para a sua produção a energia incorporada é elevada, mas o seu impacto ao longo do ciclo de vida é baixo, em grande parte porque este ciclo é muito longo, o que contribui para a diluição do impacto da energia associada à sua produção. Os cerâmicos podem ser reciclados, convertendo-se em agregados que podem ser usados no cimento. Também podem conter material reciclado, é o caso dos tijolos que incorporam resíduos de pneus. A extracção das matérias-primas utilizadas no fabrico dos materiais cerâmicos pode ter impactos negativos no meio ambiente, nomeadamente ao nível da erosão dos solos e na poluição provocada pelos efluentes líquidos e gasosos, sendo assim, este aspecto tem que ser considerado quando se analisa o impacto do ciclo de vida destes produtos.

METAIS

Os principais impactos negativos da sua utilização estão relacionados com a depleção das reservas de alguns metais e com as grandes quantidades de rocha que necessitam de ser extraídas para obter uma pequena quantidade de metal. Em consequência disto as zonas em volta da exploração mineira são gravemente afectadas pela poluição e erosão dos solos. O processo produtivo dos metais é

responsável pelo consumo de grandes quantidades de energia e pela emissão de substâncias perigosas. Em alguns casos estes metais podem ser reutilizados ou reciclados, é o caso do aço e do alumínio, exigem pouca manutenção e apresentam uma elevada durabilidade.

MATERIAIS NATURAIS

Neste grupo incluem-se as madeiras provenientes de florestas sustentáveis, a cortiça e outros materiais com origem em actividades agrícolas (por exemplo a palha, algodão, etc.). São materiais com muito pouca energia incorporada, totalmente biodegradáveis e facilmente recicláveis. No entanto é preciso alguma atenção ao classificar estes materiais, porque alguns necessitam da incorporação de aditivos para serem utilizados como materiais de construção, podendo originar emissões de poluentes para o ambiente.

COMPÓSITOS

Os materiais compósitos combinam normalmente dois ou mais materiais, sendo normalmente mais resistentes, exigem menos manutenção e têm maior durabilidade do que o material que pretendem substituir. Um exemplo disto é a utilização dos painéis compósitos com resinas fenólicas na substituição da madeira. No entanto têm como desvantagens a elevada energia incorporada associada à sua produção e o consumo de recursos não renováveis (porque muitos são constituídos por materiais derivados do petróleo). Um dos aspectos mais negativos é no entanto a grande dificuldade na sua reutilização e reciclagem, na maior parte dos casos não é de todo possível reciclar estes materiais. Em algumas situações a sua utilização justifica-se pela grande diferença na sua durabilidade e baixa manutenção em relação às alternativas mais “ecológicas”.

4 Metodologias de Avaliação e Selecção de Materiais para a Construção Sustentável

4.1. A Análise do Ciclo de Vida de Materiais

A sociedade começa a preocupar-se com questões como a escassez de recursos naturais e a degradação ambiental. Muitas empresas responderam a estas preocupações apresentando produtos mais “ecológicos” ou utilizando processos mais “ecológicos”. O desempenho ambiental de produtos e processos tornou-se um tema chave e é, por isso, que algumas empresas procuram formas de minimizar os seus efeitos no ambiente. Muitas empresas perceberam as vantagens de explorar mecanismos que estão para além do que é exigido por lei, usando estratégias de prevenção da poluição e sistemas de gestão ambiental para melhorar o seu desempenho ambiental. Uma dessas ferramentas é a Análise do Ciclo de Vida (ACV). Este conceito considera todo o ciclo de vida de um produto.

A ACV é um método de avaliação de sistemas e produtos ao longo do seu tempo de vida. Começa com a extracção das matérias-primas necessárias para criar o produto e termina no ponto em que os materiais regressam à terra. A ACV avalia todas as fases da vida de um produto considerando-as independentes. A ACV permite estimar os impactos ambientais cumulativos resultantes de todas as fases do ciclo de vida do produto (figura 3), incluindo muitas vezes impactos não considerados em análises mais tradicionais (por exemplo: extracção de matérias-primas, transporte de materiais, destino final do produto, etc.). Ao incluir os impactos ao longo do ciclo de vida do produto, a ACV providencia uma visão global dos aspectos ambientais do produto ou do processo e fornece uma imagem mais nítida dos compromissos ambientais na selecção dos produtos e processos [Curran, 2006].

O termo ciclo de vida refere-se às principais actividades no decurso do tempo de vida do produto, desde a sua manufactura, passando pelo uso e manutenção e acabando no destino final.

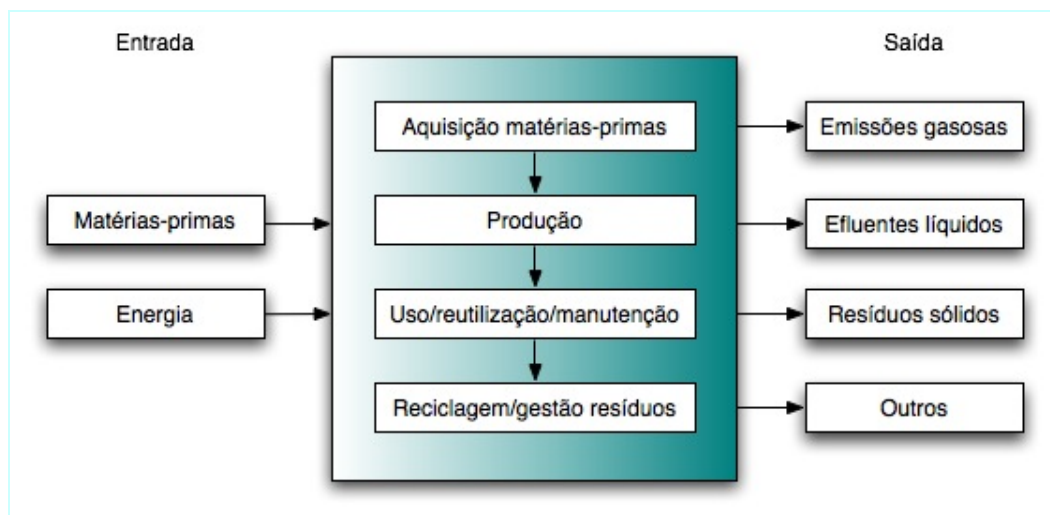


Figura 3 – Balanço de impactos ambientais na produção de um material [Paulsen, 2001; Borg, 2001]

A ACV é uma técnica de avaliação dos impactos ambientais associados a um produto ou material através da [Paulsen, 2001; Borg, 2001]:

- Compilação da informação relativa ao consumo energético e de matérias-primas e respectivas emissões para o ambiente.
- Avaliação dos possíveis impactos ambientais relacionados com o ponto anterior.
- Interpretação dos resultados para ajudar os profissionais a tomar decisões mais informadas.

A ACV é um processo sistemático, dividido em quatro fases (figura 4) [Paulsen, 2001; Borg, 2001]:

- Definição dos objectivos e âmbito de aplicação – define e descreve o produto e estabelece o contexto no qual a avaliação será realizada.
- Fase de inventário – recolha dos dados considerados importantes para a análise, por exemplo: consumo energético, consumo de matérias-primas, emissões ambientais, etc.
- Análise do impacto no ciclo de vida – avalia o impacto ambiental dos materiais ou produtos, tendo em conta os dados anteriormente recolhidos.
- Interpretação do ciclo de vida – interpretação dos resultados obtidos em cada etapa.

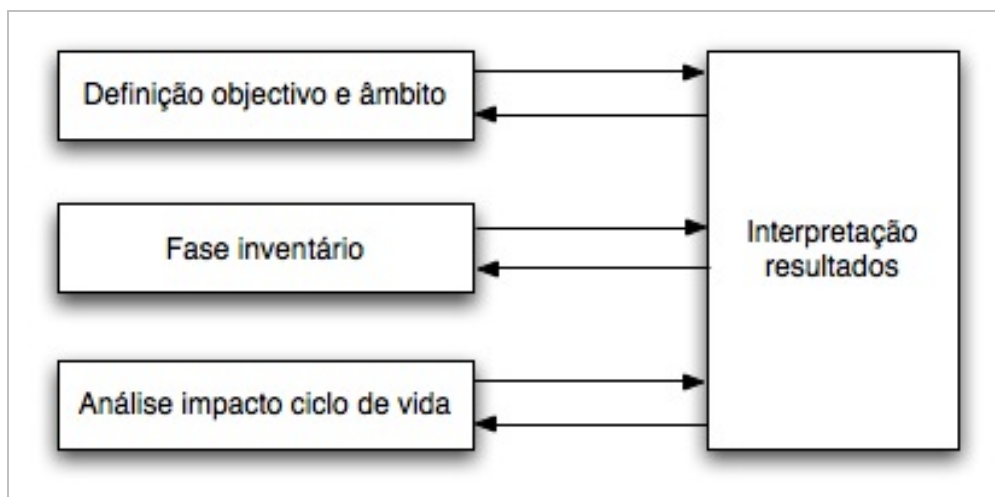


Figura 4 - Relação entre as fases de uma Análise de Ciclo de Vida (ACV)
[Paulsen, 2001; Borg, 2001]

A ACV abrange todos os processos começando na extracção das matérias-primas e no consumo energético necessário à criação do produto, passando pela sua utilização até à sua eliminação final. Quando é necessário decidir entre duas ou mais alternativas, a ACV pode ajudar a comparar os principais aspectos ambientais associados a cada produto.

Em conclusão, ao conduzir uma ACV é possível:

- Desenvolver um processo sistemático de avaliação das consequências ambiental associado a determinado produto ou solução.
- Quantificar as emissões ambientais associadas a cada etapa do ciclo de vida do produto.
- Avaliar os efeitos a nível humano e ambiental do consumo de matérias-primas e das emissões ambientais.
- Estabelecer uma análise comparativa entre vários produtos para uma mesma função.

Realizar uma ACV pode ser demorado e consumir elevados recursos. Dependendo de quão aprofundada é a ACV, a recolha de dados pode ser problemática, e a sua disponibilidade pode ter um grande impacto na fiabilidade dos resultados finais. Sendo assim, é importante avaliar a disponibilidade de dados, o tempo necessário

para conduzir o estudo e os recursos disponíveis comparativamente aos benefícios que podem advir da ACV.

A ACV não visa determinar qual o produto ou solução que é mais eficiente ou menos dispendiosa. Assim, a informação desenvolvida no estudo deve ser usada com parte de um processo mais abrangente de decisão.

A ACV deve ser realizada com base num modelo que permita converter os resultados obtidos na avaliação de impactos numa pontuação final.

4.2. Fases de uma Análise de Ciclo de Vida

4.2.1 Definição do(s) Objectivo(s) e âmbito de aplicação

Trata-se da fase do processo de ACV que define o objectivo e o método de avaliação dos impactos ambientais ao longo do ciclo de vida do produto. Nesta fase devem ser determinados os seguintes pontos: que tipo de informação é necessária, qual a precisão que os resultados devem apresentar e como esses resultados devem ser interpretados, de forma a serem significativos e utilizáveis.

A definição do objectivo e âmbito de aplicação da ACV vai determinar o tempo e recursos necessários à sua realização. O objectivo e âmbito vão orientar todo o processo, para assegurar que se obtém os resultados pretendidos. Cada decisão tomada nesta fase tem impacto na forma como o estudo será conduzido e na relevância dos resultados finais.

As decisões que devem ser tomadas no início da ACV, para que seja mais eficaz a gestão do tempo e dos recursos, são [Paulsen, 2001; Borg, 2001]:

- 1 Definir o(s) objectivo(s) do projecto
- 2 Determinar que tipo de informação é necessário fornecer a quem vai tomar as decisões
- 3 Determinar a especificidade pretendida com o estudo
- 4 Determinar como os dados devem ser organizados e como os resultados devem ser apresentados

- 5 Determinar o âmbito do estudo
- 6 Determinar as linhas mestras para a execução do trabalho

Cada uma destas decisões será explicada em seguida, com maior detalhe.

Definição do objectivo do projecto

A ACV é uma ferramenta versátil para quantificar os impactos ambientais de um produto. O principal objectivo é escolher o melhor produto ou solução, que apresente o menor impacto na saúde humana e no ambiente. Conduzir uma ACV também pode ajudar no desenvolvimento de novos produtos e soluções.

Determinar que tipo de informação é necessária para informar os decisores

A ACV pode ajudar a identificar as questões que interessam aos decisores para ajudar a definir os parâmetros do estudo. Dão-se como exemplo as seguintes questões:

- Qual a importância do estudo para os decisores?
- Qual o produto ou material que causa menor impacto ambiental (quantificável) no todo ou nas diferentes etapas do ciclo de vida?
- Em que medida as alterações no produto ou material, no decorrer do seu ciclo de vida, afectam o seu impacto no ambiente?
- Qual o produto ou material que causa menor dano ambiental?
- Que aspectos de uma solução ou material podem ser alterados de forma a reduzir o seu impacto ambiental?

Uma vez correctamente formuladas as questões, é fundamental determinar que tipo de informação é necessário para responder às perguntas.

Determinar a especificidade pretendida com o estudo

O ponto de partida de qualquer estudo deve passar pela definição do seu nível de especificidade. Em alguns casos este nível é óbvio, tendo em conta a aplicação que se pretende dar à informação obtida. No entanto, em algumas situações, podem surgir várias opções a considerar: realizar um estudo completamente

genérico, um estudo de um produto ou solução específica com mais detalhe, ou considerar ainda uma análise que se situa algures entre as duas anteriores.

Pode visualizar-se a ACV como um conjunto de actividades inter-relacionadas que descrevem a produção, uso e eliminação final de um produto ou material de particular interesse. Nesta fase da ACV o avaliador deve colocar as seguintes questões: O produto ou solução analisada é específico de uma determinada empresa? Ou, pelo contrário, trata-se de um produto ou solução genericamente encontrada no mercado, sendo produzida por diversas empresas?

Estas questões ajudam a definir se os dados recolhidos devem ser especificamente de uma determinada empresa ou se devem ser mais genéricos.

É importante que o nível de especificidade dos dados seja claramente definido para que os leitores possam compreender melhor as diferenças nos resultados finais.

Determinar como os dados devem ser organizados e como os resultados devem ser apresentados

Na ACV os dados devem ser organizados em termos de uma unidade funcional que descreva adequadamente a função do produto ou da solução em estudo. Uma cuidadosa selecção da unidade funcional que se vai avaliar e apresentar nos resultados da ACV, aumenta a exactidão do estudo e a utilidade dos resultados.

Por exemplo, numa ACV que estuda dois tipos de isolamento térmico para determinar qual o mais adequado do ponto de vista ambiental, estes devem ser avaliados pela sua função, a capacidade de reduzir a transferência de calor. Para comparar dois materiais com condutividades térmicas diferentes é necessário determinar a espessura que cada um deles deve ter para um determinado nível de isolamento, o que significa que são comparadas quantidades distintas dos materiais, a unidade funcional é o nível de isolamento.

Determinar o âmbito do estudo

Como já foi dito anteriormente uma ACV engloba todas as etapas do ciclo de vida do material ou produto: extracção de matérias-primas, produção, uso,

reutilização, manutenção e, reciclagem e gestão do resíduo. Para determinar se apenas uma ou todas as fases devem ser incluídas no âmbito da ACV, as seguintes questões devem ser colocadas: qual o objectivo da análise, qual a precisão pretendida para os resultados e qual a disponibilidade de tempo e recursos. As principais etapas do ciclo de vida de um material ou produto devem ser detalhadas, por exemplo, do seguinte modo:

- Extracção de matérias-primas - nesta etapa é contabilizada a extracção das matérias-primas necessárias para a produção dos materiais e a energia consumida neste processo. Também o transporte desde o ponto de aquisição até ao local de transformação das matérias-primas é incluído nesta fase.
- Produção - durante a produção as matérias-primas são transformadas num produto ou material que é posteriormente entregue ao cliente. A fase de produção inclui os seguintes passos: transformação das matérias-primas, preparação do produto, embalagem e distribuição.
- Uso, reutilização e manutenção - esta etapa começa no momento em que o material ou produto chega ao cliente, engloba todas as actividades associadas à sua vida útil, terminando quando o cliente já não necessita do produto, sendo este enviado para reciclagem ou eliminado.
- Reciclagem e gestão do resíduo - inclui as necessidades energéticas e os resíduos gerados pelas actividades associadas à reciclagem e eliminação do produto ou material.

Dependendo do objectivo do estudo, é possível excluir algumas destas etapas ou actividades e mesmo assim garantir a fiabilidade da ACV.

4.2.2 Fase de inventário

A fase de inventário corresponde ao processo de quantificar a energia, procura de materiais, emissões atmosféricas, efluentes líquidos, resíduos sólidos e restantes aspectos ambientais, de todo o ciclo de vida do produto, sistema ou material.

Todos os dados considerados relevantes são recolhidos e organizados. O nível de precisão e detalhe dos dados irá reflectir-se nas restantes etapas do processo. Ao elaborar o plano de recolha de dados devem considerar-se os seguintes aspectos:

- Definição da qualidade dos dados – o número e a natureza dos dados recolhidos devem ir de encontro aos objectivos estabelecidos para a qualidade da informação a fornecer com o estudo.
- Identificação das fontes e do tipo de dados – especificação das fontes e dos dados necessários para providenciar a informação necessária para o cumprimento dos objectivos do estudo.

Os dados recolhidos podem ser agrupados em função da etapa do ciclo de vida ou processos específicos.

Para compreender melhor que dados devem ser recolhidos é importante compreender as entradas e saídas do processo ou sistema a avaliar. Uma ferramenta que pode ajudar nesta etapa é a elaboração de um diagrama com as entradas e saídas do processo ou sistema. Os objectivos e âmbito da ACV correspondem aos limites deste diagrama de fluxo do sistema (figura 5).

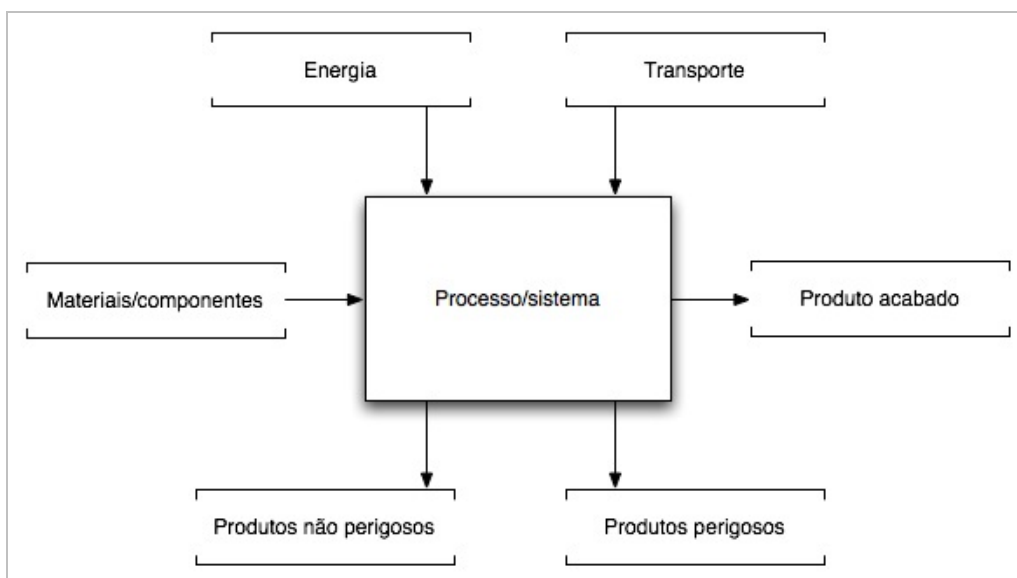


Figura 5 - Diagrama de fluxo de um sistema genérico [Ferreira, 2004]

Quanto mais completo e complexo for o diagrama, maior a precisão e utilidade dos resultados. No entanto, uma maior complexidade também se traduz num maior consumo de tempo e recursos dedicados à recolha dos dados e à fase de análise. Num estudo comparativo, é importante que todos os sistemas estejam enquadrados dentro dos mesmos limites e que sejam apresentados com o mesmo nível de detalhe.

Para maior facilidade podem considerar-se subsistemas dentro do processo principal, onde se entende que um subsistema corresponde a um conjunto de etapas ou processos. Em cada um destes subsistemas é necessário considerar as entradas de energia e de materiais, transporte de produtos e saídas de produtos, emissões para o ambiente, etc.

Este tipo de diagramas tem o objectivo de orientar a recolha de dados, recolha essa que deve consistir em tentar preencher os fluxos do diagrama com dados numéricos.

A decisão sobre que tipos de dados devem ser incluídos no estudo é complexa. Tendo em conta o objectivo do estudo é possível excluir determinadas classes de dados, considerados negligenciáveis para o âmbito da ACV e para a finalidade do estudo. A decisão de não considerar determinados dados para o estudo deve ser sempre devidamente justificada e fundamentada. Tentar incluir todos os dados passíveis de serem considerados, sem levar em linha de conta a sua importância para os objectivos e âmbito da ACV, pode levar a um processo demasiado moroso e complexo, podendo tornar-se um exercício interminável.

4.2.3 Análise do impacto no ciclo de vida

Nesta fase pretende avaliar-se o impacto dos produtos ou sistemas, tendo por base os dados recolhidos e tratados na etapa anterior. A avaliação de impacto deve englobar os efeitos no ambiente e na saúde humana, bem como considerar os efeitos na depleção de recursos naturais. Pretende-se estabelecer uma relação entre o produto ou sistema e os seus potenciais impactos no ambiente, em que os

resultados traduzem as diferenças relativas do impacto ambiental de cada opção avaliada.

Os passos seguintes descrevem este processo de avaliação:

Seleccção e definição das categorias dos impactos – este passo deve ser realizado quando é definido o objectivo e âmbito do estudo, permitindo assim orientar o processo de recolha e tratamento dos dados.

Classificação – organizar e classificar os dados recolhidos de acordo com as categorias definidas.

Caracterização e normalização – atribui um factor de peso ou conversão a cada resultado classificado, permitindo converter estes dados em indicadores de impacto ambiental e humano. Por outras palavras, os factores de caracterização traduzem as entradas do inventário em indicadores directamente comparáveis.

4.2.4 Interpretação do ciclo de vida

A interpretação do ciclo de vida é uma técnica sistemática para identificar, quantificar, verificar e avaliar a informação obtida a partir dos resultados recolhidos na fase de inventário e na fase de análise do ciclo de vida.

Tem por finalidade relatar de forma transparente os resultados e conclusões, visando satisfazer os objectivos do estudo, fornecendo a informação necessária para uma escolha consciente e informada do produto, material ou sistema [Ferreira, 2004].

4.3. Sistemas de Avaliação do Ciclo de Vida dos Edifícios, Materiais e Produtos

A crescente adopção pelo sector da construção civil dos conceitos de sustentabilidade e da utilização de materiais e produtos mais ecológicos, levou ao desenvolvimento de ferramentas de avaliação para avaliar a sustentabilidade dos materiais e de edifícios (sejam eles existentes ou novos, em projecto). A

amplitude destas ferramentas vai desde métodos de análise de ciclo de vida muito detalhados, onde são considerados os impactos ambientais dos materiais de construção, até métodos de avaliação de impactos ambientais de nível mais elevado, sistemas de classificação de edifícios, que consideram implicações mais abrangentes do impacto dos edifícios no ambiente. Foram desenvolvidos dois tipos de estruturas metodológicas básicas para avaliação dos impactos ambientais de um dado objecto. A Avaliação de Impactos Ambientais (AIA) e a Análise de Ciclo de Vida (ACV), já explicada com detalhe na secção 4.2.. Ambas partilham o objectivo de inventariar e avaliar os impactos ambientais dos objectos de estudo, mas diferem num ponto fundamental. No AIA o foco é colocado na avaliação dos impactos ambientais actuais de um objecto num dado local e num determinado contexto, enquanto que a ACV é formulada para avaliar os impactos ambientais potenciais de um produto independentemente do local, de quando e por quem vai ser usado (figura 6) [Ding, 2007; Gu, 2006; Selih, 2007].

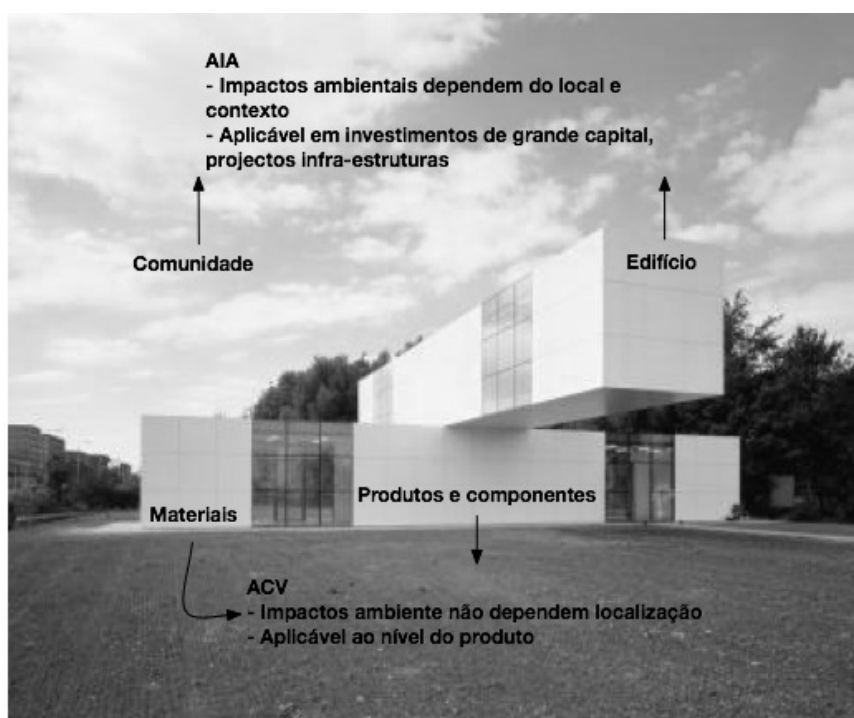


Figura 6 - Níveis de avaliação de impactos num edifício [Ding, 2007; Gu, 2006]

Pensando no edifício como um produto, que pode ser objecto de uma avaliação do desempenho ambiental, fica claro que a avaliação de edifícios pode colocar-se algures entre o âmbito de uma AIA e uma ACV. Os edifícios incorporam uma variedade de características inerentes a um dado local e contexto, tornando-os, desta perspectiva, objectos para um estudo de AIA. Entre as características mais óbvias estão, por exemplo, o perfil energético (muitas vezes ditado pelas infra-estruturas disponíveis localmente), sistema de transporte de e para o local, impacto do edifício nos terrenos envolventes, etc. Por outro lado, os materiais e produtos de construção (apesar de alguns serem extremamente complexos), podem ser considerados como produtos industriais genéricos, que servem uma necessidade funcional bem definida, durante um ciclo de vida bem definido, enquadrando-se assim no âmbito da ACV.

Neste trabalho as ferramentas de avaliação estão divididas segundo o seu âmbito de aplicação [Ding, 2007; Gu, 2006; Crawley, 1999]:

Sistemas de classificação: classificam os edifícios com base num conjunto de critérios, pontuando a construção;

Sistemas de Análise de Ciclo de Vida (ACV): classificam materiais, produtos ou edifícios mediante a avaliação de um conjunto definido de critérios ambientais;

Guias de produtos ecológicos: guias que estão disponíveis na Internet ou em versões impressas e que providenciam avaliações qualitativas de materiais e produtos;

Ferramentas de energia incorporada: têm por base dados fornecidos pelos sectores e subsectores da indústria, fornecem informação sobre a energia incorporada de todo o edifício de forma relativamente rápida.

4.3.1 Ferramentas de avaliação ambiental – sistemas de classificação

4.3.1.1 GBTool

O GBC (Green Building Challenge) é um consórcio constituído por mais de 25 países que desenvolveu um método de avaliação do desempenho ambiental dos edifícios. A estrutura de avaliação foi produzida sob a forma de um software (GBTool) que facilita a completa descrição do edifício e do seu desempenho. O GBTool pode trabalhar com novos edifícios ou projectos de renovação, foi implementado sobre uma folha do Microsoft Excel e pode ser descarregado tanto para fins de avaliação como educativos (Figura 7) [Cole, 1999; Cole, 1998; Todd et. al., 2001].

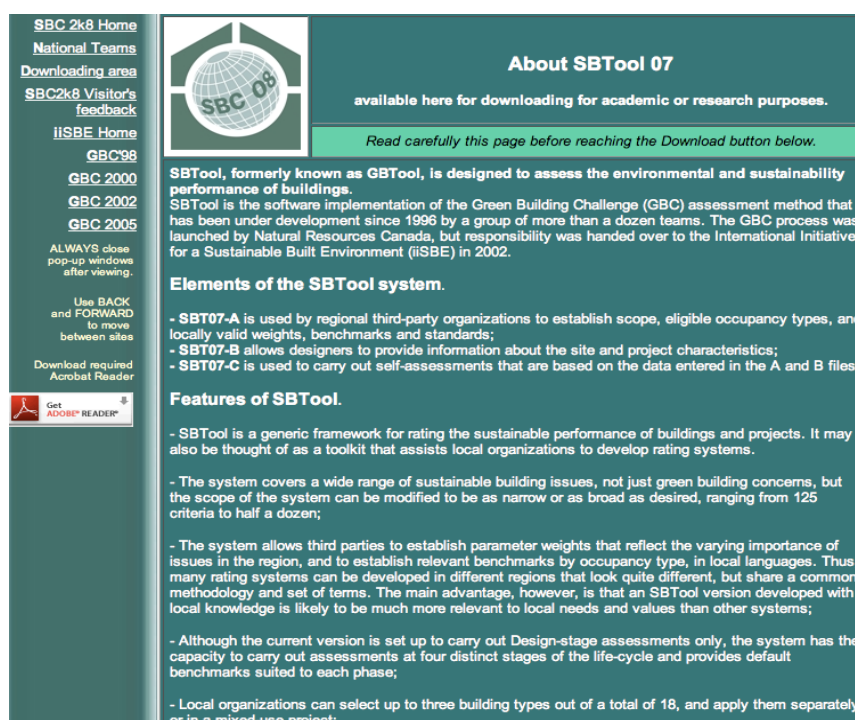


Figura 7 - <http://greenbuilding.ca/iisbe/sbc2k8/sbc2k8-start.htm>

Equipas nacionais dos países participantes testaram o sistema de avaliação em edifícios de estudo de caso, em cada país. Um processo inicial de 2 anos, que

incluiu 14 países, culminou na conferência GBC'98 em Vancouver em Outubro de 1998, onde 34 projectos foram avaliados aprofundadamente. O trabalho resultante de uma segunda ronda de mais dois anos de desenvolvimento foi apresentado e revisto na Conferência Internacional de Construção Sustentável de 2000, em Maastricht na Holanda, que foi uma continuação do processo GBC'98 e um período de revisão, modificação e teste da estrutura de avaliação GBC e do GBTool.

Outras conferências se seguiram, tendo entretanto a ferramenta passado a denominar-se SBTool. A próxima reunião está prevista para Melbourne, em Setembro de 2008.

Os objectivos genéricos do GBC são:

- Analisar o estado da arte em metodologias de avaliação do desempenho ambiental,
- Manter um panorama actualizado nas questões da sustentabilidade, e no conteúdo e estrutura dos métodos de avaliação da construção sustentável,
- Patrocinar conferências que promovam a troca entre a comunidade de investigação da construção sustentável e os construtores, servir de montra ao progresso dos edifícios sustentáveis.
- Desenvolver uma estrutura genérica aceite internacionalmente, que pode ser usada para comparar métodos de avaliação existentes, e usada por outros para produzir sistemas baseados na indústria regional.
- Expandir o âmbito da estrutura de avaliação GBC da construção sustentável para incluir questões de sustentabilidade ambiental e facilitar comparações internacionais do desempenho ambiental dos edifícios.

Os dados utilizados nesta ferramenta são de dois tipos diferentes:

- Dados quantitativos: valores estatísticos, detalhados, dos previsíveis consumos de energia, água, terreno, materiais, emissões atmosféricas, e também aspectos mensuráveis das condições ambientais do ar interior.
- Dados qualitativos: aspectos relacionados com o ambiente interior, questões de saúde, aspectos relacionados com o design, planeamento do design e da operação do edifício e gestão de aprovisionamentos, cargas

ambientais na zona envolvente, sobretudo em termos dos efeitos na vizinhança ou nas propriedades adjacentes.

É uma ferramenta de avaliação e de suporte ao projecto de um edifício. Para tal, este programa utiliza um conjunto de critérios e subcritérios, apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Critérios de avaliação e respectivos subcritérios do SBTool

Critério	Subcritério
Consumo de recursos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Consumo de energia no ciclo de vida 2. Uso de terreno 3. Uso de água da rede 4. Consumo de materiais
Cargas ambientais	<ol style="list-style-type: none"> 1. Emissão de gases de efeito de estufa 2. Emissão de substâncias destruidoras da camada de ozono 3. Emissão de gases responsáveis pelas chuvas ácidas 4. Emissões que levam à formação de oxidantes fotoquímicos 5. Emissões com potencial de eutrofização 6. Resíduos sólidos 7. Efluentes líquidos 8. Impactos ambientais no terreno e propriedades adjacentes
Qualidade do ar interior	<ol style="list-style-type: none"> 1. Qualidade do ar e ventilação 2. Conforto térmico 3. Iluminação natural e acesso visual 4. Ruído e acústica 5. Poluição electromagnética
Qualidade em serviço	<ol style="list-style-type: none"> 1. Flexibilidade e adaptabilidade 2. Controlo dos sistemas 3. Manutenção e desempenho 4. Privacidade e acesso à luz do sol e à paisagem 5. Impacto da qualidade em serviço no terreno e nas propriedades adjacentes
Economia	<ol style="list-style-type: none"> 1. Custo do ciclo de vida 2. Custo inicial 3. Custo da utilização e manutenção
Gestão pré-utilização	<ol style="list-style-type: none"> 1. Planeamento do processo de construção 2. Melhoria do desempenho 3. Planeamento das operações construtivas
Transportes	<ol style="list-style-type: none"> 1. Emissão de gases de efeito de estufa 2. Emissão de gases causadores de chuvas ácidas 3. Emissão de oxidantes fotoquímicos

Os primeiros quatro critérios (consumo de recursos, cargas ambientais, qualidade do ar interior e qualidade em serviço) são considerados requisitos na avaliação. Estes critérios e subcritérios de desempenho são pontuados de -2 a +5 na escala de avaliação. Os restantes são importantes mas não são pontuados na avaliação (tabela 2) [Cole, 1999; Todd et. al., 2001].

Tabela 2 - Tabela de pontuação dos critérios avaliados para o SBTool

Pontuação	
-2 ¹ e -1	Níveis de desempenho abaixo do aceitável na região onde o edifício está localizado
0	O nível mínimo aceitável para a região onde está construído o edifício
3	A melhor prática
5	O melhor tecnicamente alcançável, sem considerar o custo

¹Este valor é atribuído quando o desempenho é claramente inferior às normas ou práticas da indústria.

Para muitos dos critérios qualitativos é requerida uma considerável deliberação. O referencial padrão é simplesmente uma declaração do que é considerado como uma condição típica ou prática normal para o edifício, na região.

A fronteira do sistema a avaliar é o edifício e toda a metodologia gira em torno da redução de impactos, o que implica um interesse a longo prazo (mais de 20 anos) na protecção e preservação dos sistemas ambientais [Kohler 1999; Kohler, 2002].

4.3.1.2 BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method)

O BRE (Building Research Establishment) do Reino Unido, desenvolveu o método BREEAM, que é actualmente um dos métodos de maior reconhecimento a nível internacional. Foi desenvolvido em 1990, e dá ao utilizador orientações com o objectivo de minimizar os efeitos adversos dos edifícios no ambiente local e global (figura 8).

A avaliação tem por base créditos atribuídos para um conjunto de critérios. Quando um edifício é avaliado usando o BREEAM, o resultado é um valor de pontuação, que permite aos proprietários ou ocupantes atingir o reconhecimento pelo desempenho ambiental dos seus edifícios.



Figura 8 - <http://www.breeam.org/index.jsp>

O desempenho ambiental é avaliado segundo nove categorias (tabela 3) [Cole, 2000; Gu, 2006]:

1. Gestão (do edifício e da organização dos ocupantes),
2. Saúde e conforto,
3. Energia,
4. Transporte,
5. Consumo de água,
6. Materiais,
7. Utilização do terreno,
8. Ecologia local,
9. Poluição.

Os créditos da avaliação são atribuídos pelo desempenho ambiental de acordo com os critérios definidos para cada uma destas categorias, o que conduz a uma

pontuação. Um sistema de ponderação ambiental é aplicado ao longo destas nove categorias, de forma a determinar classificação BREEAM final. O sistema de ponderação aplicado é o resultado de um processo de consulta a um vasto grupo de profissionais e outros agentes, no Reino Unido, e é actualizada de periodicamente.

Tabela 3 - Descrição dos critérios avaliados no BREEAM [Cole, 2000; Gu, 2006]

Critério	Descrição
Gestão	Política global, procedimentos processuais e de comissionamento
Consumo energia	Energia operacional e geração de CO ₂
Saúde e bem-estar	Aspectos do interior e exterior que afectam a saúde e bem-estar (iluminação, qualidade do ar, materiais perigosos, radon, ruído interior, sistema de aquecimento de água)
Poluição	Poluição do ar (CO ₂ , NOx, CFCx, HCFCs, Halogénios) e da água
Transporte	CO ₂ relacionado com o transporte e factores relacionados com a localização
Utilização terreno	Terrenos virgens e terrenos abandonados
Ecologia	Valor ecológico do local
Materiais	Implicações ambientais dos materiais de construção
Água	Consumo de água e eficiência

O sistema está padronizado, para facilitar a avaliação dos edifícios novos e recuperados, existentes e ocupados. Este método permite comparações cruzadas entre edifícios existentes, e entre novos projectos e edifícios já existentes.

Os dados apresentam-se em duas formas [Cole, 2000; Gu, 2006]:

- **Quantitativos:** consumo de energia e água, dados de materiais, perfil do sistema ambiental baseado em dados de ACV (usados para determinar os créditos atribuídos aos materiais).
- **Qualitativos:** o uso de balastros de alta-frequência na iluminação fluorescente (factor de saúde e conforto) ou outros esforços que tenham sido realizados para plantar novas árvores (um factor de ecologia).

A pontuação é atribuída com base no nível de desempenho em relação a cada critério. O resultado global é depois traduzido na escala BREEAM de "Aprovado", "Bom", "Muito Bom" ou "Excelente". O sistema de ponderação é pré-determinado,

e assim, os utilizadores não podem aplicar as suas prioridades individuais de ponderação.

Para os materiais, são avaliados aspectos como o impacto ambiental da sua utilização na construção e o consumo responsável de recursos (a utilização de madeira certificada, por exemplo).

4.3.1.3 LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)

O sistema de classificação de edifícios sustentáveis LEEDTM (Leadership in Energy and Environmental Design) é um programa prioritário do US Green Building Council (US GBC, 2002). É um sistema de avaliação de edifícios orientado pelo mercado, voluntário, que se baseia em tecnologia existente e testada (figura 9) [Yoders, 2005; Kibert, 2005].



Figura 9 - www.usgbc.org/LEED

Avalia o desempenho ambiental na perspectiva de "todo o edifício" ao longo do seu ciclo de vida, proporcionando um padrão definitivo para o que constitui um edifício sustentável.

O LEED™ baseia-se em princípios ambientais e energéticos aceites, e estabelece um balanço entre práticas efectivas conhecidas e conceitos emergentes.

O LEED™ é um sistema de auto-avaliação concebido para edifícios comerciais, institucionais e edifícios residenciais em altura, novos e existentes. É um sistema orientado para a funcionalidade, onde os créditos são obtidos pela satisfação de determinados critérios. São atribuídos diferentes níveis de certificação de edifícios sustentáveis com base no total de créditos obtido.

O sistema está concebido para ser o mais abrangente possível, mas simples na sua operacionalidade.

O LEED™ usa uma lista de verificação de formato simplificado que facilita o seu uso na fase de projecto – as equipas de projecto usam frequentemente a lista como base para discussões sobre que estratégias e créditos tentarão alcançar com o edifício (tabela 4) [Yoders, 2005; Kibert, 2005].

O sistema atribui classificações de certificação prata, ouro e platina. Para obter uma certificação, o edifício obedecer a sete pré-requisitos, que estão relacionados com a sustentabilidade da localização, eficiência do uso de água e energia, consumo de materiais e recursos, e qualidade do ar interior.

Todos os critérios e subcritérios do LEED™ estão descritos na tabela 4. É com base nestes critérios e subcritérios que são atribuídos pontos, sendo depois o edifício classificado como Prata, Ouro ou Platina.

Tabela 4 - Pontuação de critérios do LEED

Critério	Subcritério	Pontos²
Localização sustentável	Seleção do local, desenvolvimento urbano, recuperação de locais abandonados, transporte alternativo, redução da perturbação do local, gestão das águas da chuva, design exterior e da paisagem para reduzir ilhas de calor, redução da poluição visual.	14
Eficiência do consumo de água	Eficiente exploração de água, tecnologias inovadoras de tratamento de águas, tecnologias de redução do consumo de água.	5
Energia/atmosfera	Optimização do desempenho energético, energias renováveis, depleção da camada de ozono, medição e verificação, energias verdes.	17
Materiais/recursos	Reutilização de edifícios, gestão dos resíduos de construção e demolição, reutilização de recursos, conteúdo reciclado, materiais de origem local/regional, materiais rapidamente renováveis, madeiras certificadas.	13
Qualidade do ar interior	Dióxido de carbono (CO ₂), aumento da eficiência da ventilação, plano de gestão da qualidade do ar interior, materiais de baixa emissão, controlo das fontes de químicos e poluentes no interior, controlabilidade dos sistemas, conforto térmico, iluminação natural e acesso visual.	15
Inovação projecto	Inovação no projecto, profissionais acreditados pelo LEED TM .	5

²O edifício é certificado como prata, ouro ou platina de acordo com os pontos obtidos (prata 33-38 pontos; ouro 39-51 pontos; platina 52-69 pontos).

Existem requisitos mínimos obrigatórios que o edifício tem que cumprir, em áreas tais como: funcionamento do edifício, eficiência energética, qualidade do ar interior, depleção da camada de ozono, CFCs, proibição de fumar, conforto e água (tabela 5) [Yoders, 2005; Kibert, 2005].

Tabela 5 - Requisitos mínimos do edifício

Critério	Pré-requisito	Objectivo
Localização sustentável	Controlo da erosão e sedimentação.	Controlar a erosão para reduzir os impactos negativos na água e na qualidade do ar.
Energia e atmosfera	Funcionamento dos sistemas fundamentais do edifício.	Verificar e assegurar que os elementos fundamentais do edifício e os sistemas são concebidos, instalados e calibrados para operar como estavam projectados.
	Desempenho mínimo de energia.	Estabelecer um nível mínimo para a eficiência energética para os sistemas de base do edifício.
	Redução CFC e equipamento HVAC.	Reduzir a depleção da camada de ozono.
Materiais e recursos	Recolha e armazenamento dos materiais recicláveis	Facilitar a redução de lixo gerado pelos ocupantes dos edifícios, que é enviado e depositado em aterro.
Qualidade do ar interior	Mínimo desempenho de qualidade do ar interior	Estabelecer um desempenho mínimo de qualidade do ar interior, para prevenir o desenvolvimento de problemas da qualidade do ar interior nos edifícios, manter a saúde e bem-estar dos ocupantes.
	Controlo do fumo de tabaco.	Prevenir a exposição dos ocupantes ao fumo de tabaco.

Os dados requeridos são valores estatísticos detalhados dos consumos previsíveis de energia, água e materiais, bem como aspectos mensuráveis das condições da qualidade do ar e do terreno.

4.3.1.4 CASBEE (Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency)

O CASBEE foi lançado com o objectivo de estabelecer um novo sistema de avaliação de construção sustentável no Japão. O CASBEE inclui um conjunto de ferramentas de avaliação que têm por base todo o ciclo de vida do edifício: projecto, construção, manutenção e renovação (figura 10) [Cole, 2000; Gu, 2006].



Figura 10 - <http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/index.htm>

Utiliza dados estatísticos dos previsíveis consumos de energia, água, terreno, materiais e emissões ambientais, bem como outros aspectos mensuráveis das condições ambientais interiores (tabelas 6 e 7).

É uma ferramenta destinada à avaliação ambiental dos materiais de construção e do projecto do edifício.

Esta ferramenta apresenta um novo conceito de avaliação que distingue os impactos ambientais da qualidade do desempenho do edifício. Ao relacionar estes dois factores, os resultados são apresentados como uma medida de eco-eficiência. Cada critério é pontuado do nível 1 ao nível 5, em que o nível 1 define que se alcançaram os requisitos mínimos, o nível 3 significa que se atingiram os níveis técnico e social típicos na altura da avaliação e o nível 5 representa o ponto mais alto de eficiência [Cole, 2000; Gu, 2006].

Tabela 6 - Critérios para o grupo: Qualidade ambiental e desempenho do edifício de acordo com o CASBEE

Grupo		Critério	Subcritério
Qualidade ambiental e desempenho do edifício	Ambiente interior	Ruído e acústica	Barulho, isolamento acústico, absorção sonora
		Conforto térmico	Controlo da temperatura ambiente, controlo da humidade, tipo de sistema do ar condicionado
		Luz e iluminação	Luz natural, medidas anti-encadeamento, níveis de iluminação, capacidade de controlo da iluminação
		Qualidade do ar	Controlo das fontes, ventilação, plano de serviço
	Qualidade em serviço	Aptidão em serviço	Funcionalidade e usabilidade, conforto
		Durabilidade	Resistência aos tremores de terra, manutenção/actualização diária, limite de carga do piso
		Viabilidade e adaptabilidade	Adaptabilidade das instalações
	Ambiente exterior no local	Manutenção e criação do ecossistema	-
		Paisagem urbana e ecológica	-
		Características locais e cultura	-

Tabela 7 - Critérios para o grupo: Redução cargas ambientais do edifício de acordo com a ferramenta CASBEE

Grupo		Critério	Subcritério
Redução das cargas ambientais do edifício	Energia	Carga térmica do edifício	Orientação do edifício, cargas térmicas das janelas, níveis de isolamento das paredes exteriores e telhado
		Utilização da energia natural	Utilização directa da energia natural, utilização indirecta
		Eficiência no sistema do edifício	Sistema HVAC, sistema de ventilação, sistema de iluminação, sistema de aquecimento de água, sistema de elevadores
		Eficiência em serviço	Monitorização, gestão do sistema operacional
	Recursos e materiais	Recursos de água	Poupança de água, utilização da água da chuva e das águas cinzentas
		Eco-materiais	Uso de materiais reciclados, uso de madeira e materiais naturais, uso de materiais perigosos, reutilização do "esqueleto" do edifício, etc., eliminação de resíduos, prevenção de CFCs e halogéneos
	Ambiente exterior fora das fronteiras	Poluição do ar	Emissão de poluentes do ar, emissão de poluentes da água, emissão de poluentes dos solos
		Odores e ruídos desagradáveis	Geração de ruídos e odores desagradáveis
		Danos do vento	-
		Danos na iluminação	-
		Efeito de ilha de calor	-
		Sobrecarga da infra-estrutura local	Sobrecarga do sistema de tratamentos de esgotos, sobrecarga do sistema de gestão de tráfego, sobrecarga do sistema de gestão de resíduos

4.3.1.5 LiderA (Sistema Português de avaliação ambiental de edifícios)

O sistema LiderA é o primeiro sistema de classificação ambiental de edifícios português (figura 11) [Pinheiro, 2007].

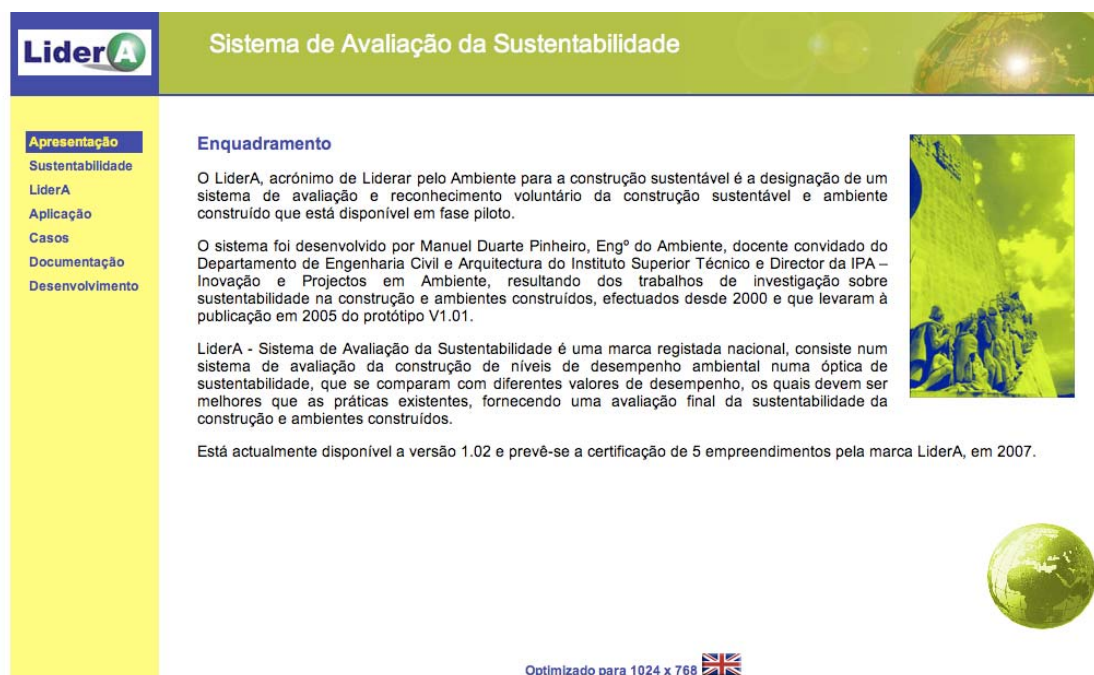


Figura 11 - http://www.lidera.info/Apresentacao_portugues.html

Foi desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura do Instituto Superior Técnico, encontra-se actualmente disponível a versão 1.02, prevendo-se para este ano a certificação de 5 empreendimentos (fase piloto) [Pinheiro, 2007].

O sistema divide-se em seis categorias a que correspondem 50 critérios de avaliação (tabela 8). A avaliação do desempenho é classificada de acordo com um sistema que vai do nível G ao nível A++. Ao nível mais baixo corresponde o cumprimento das exigências mínimas legais.

Tabela 8 - Síntese dos critérios de avaliação do LiderA [Pinheiro, 2007]

Requisito	CrITÉrios
Localização e integração	Seleccção do local e área ocupada
	Funções ecológicas do solo
	Zonas naturais
	Valorização ecológica
	Integração local
	Mobilidade de baixo impacto
	Acesso a transportes públicos
Eficiência no consumo de recursos	Desempenho energético passivo
	Consumo electricidade
	Consumo de electricidade de fontes renováveis
	Consumo outras fontes energia
	Consumo outras fontes de energia renovável
	Eficiência equipamentos
	Consumo água potável
	Controlo consumos e perdas
	Utilização águas pluviais
	Gestão águas locais
	Consumo materiais
	Materiais locais
	Materiais reciclados e renováveis
	Materiais certificados e de baixo impacto
Impacto das cargas	Caudal das águas residuais
	Tipo de tratamento das águas
	Caudal de reutilização de águas
	Emissões causadoras aquecimento global
	Emissão substâncias nocivas camada de ozono
	Produção resíduos
	Gestão resíduos perigosos
	Reciclagem resíduos
	Fontes ruído para exterior
	Efeito térmico (ilha de calor)
Ambiente anterior	Ventilação natural
	Emissão de COV's
	Micro contaminações
	Conforto térmico
	Níveis iluminação e iluminação natural
	Isolamento acústico
Durabilidade e acessibilidade	Adaptabilidade e durabilidade
	Acessibilidades
	Acessos e Interacção com a comunidade
Gestão ambiental e inovação	Informação ambiental
	Sistema de gestão ambiental
	Inovação, soluções e integração

4.3.2 Ferramentas de avaliação ambiental – sistemas de análise do ciclo de vida

4.3.2.1 ATHENA (Green Building Challenge, GBC)

Trata-se de uma ferramenta ambiental de suporte à decisão para materiais de construção e edifícios, que foi desenvolvida pelo Athena Sustainable Institute em 2000 (figura 12) [Cole, 2000; Gu, 2006].

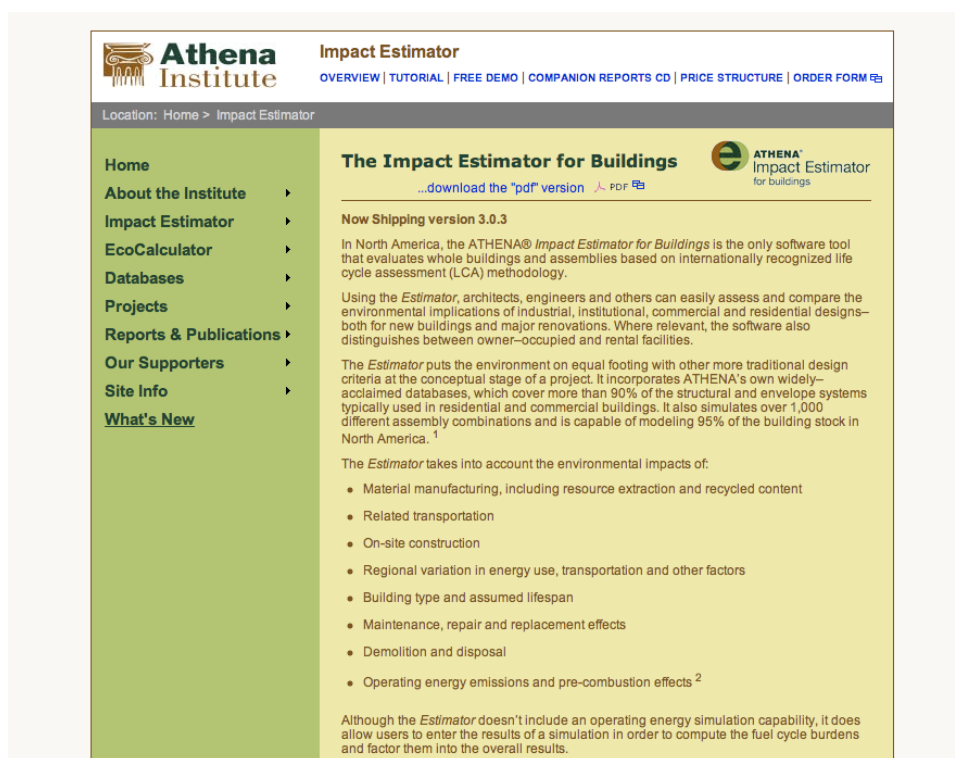


Figura 12 - <http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/index.htm>

A ferramenta Athena ajuda os projectistas a alcançar um melhor desempenho ambiental mostrando lado a lado, e em comparações gráficas, até cinco soluções conceptuais. É uma ferramenta prática, fácil de usar, que proporciona dados ambientais de elevada qualidade, dando assistência nas avaliações necessárias para fazer escolhas ambientais complexas. No sistema Athena todo o trabalho de base de uma ACV é feito longe da vista do utilizador.

Os dados introduzidos dizem respeito a descrições genéricas (localização, área bruta, tempo de vida do edifício, tipo de construção), selecção das estruturas típicas e das quantidades específicas dos produtos individuais (tabela 9) [Cole, 2000; Gu, 2006].

Tabela 9 - Critérios de avaliação do sistema Athena

	Critério
Energia ou recurso	Consumo de energia primária incorporada
Impacto ambiental	Potencial de aquecimento global
	Emissões de resíduos sólidos
	Poluentes do ar
	Poluentes da água
	Consumo de recursos naturais

Após especificar um projecto a partir da selecção das estruturas características e introduzindo quantidades específicas dos produtos individuais, o ATHENA decompõe as estruturas nos seus respectivos produtos, com o objectivo de aplicar as bases de dados de inventário. Depois os resultados mostram os dados de até seis impactos agregados (por exemplo: energia, poluição do ar, potencial aquecimento global, consumo recursos, e emissões de resíduos sólidos) na forma de gráficos ou tabelas.

4.3.2.2 ECO-QUANTUM

O Eco-Quantum é uma ferramenta de simulação que permite aos utilizadores identificar rapidamente as consequências ambientais da escolha de materiais e o consumo de água e energia de um projecto (figura 13).

Esta ferramenta calcula os efeitos ambientais ao longo de todo o ciclo de vida do edifício, desde o momento da extracção das matérias-primas, produção, utilização em serviço, até à demolição e reutilização. Isto inclui o impacto da energia, a manutenção durante a fase de serviço e as diferenças na durabilidade das partes que fazem parte da construção e que estão relacionadas com o tempo de vida do edifício [Cole, 2000; Gu, 2006].

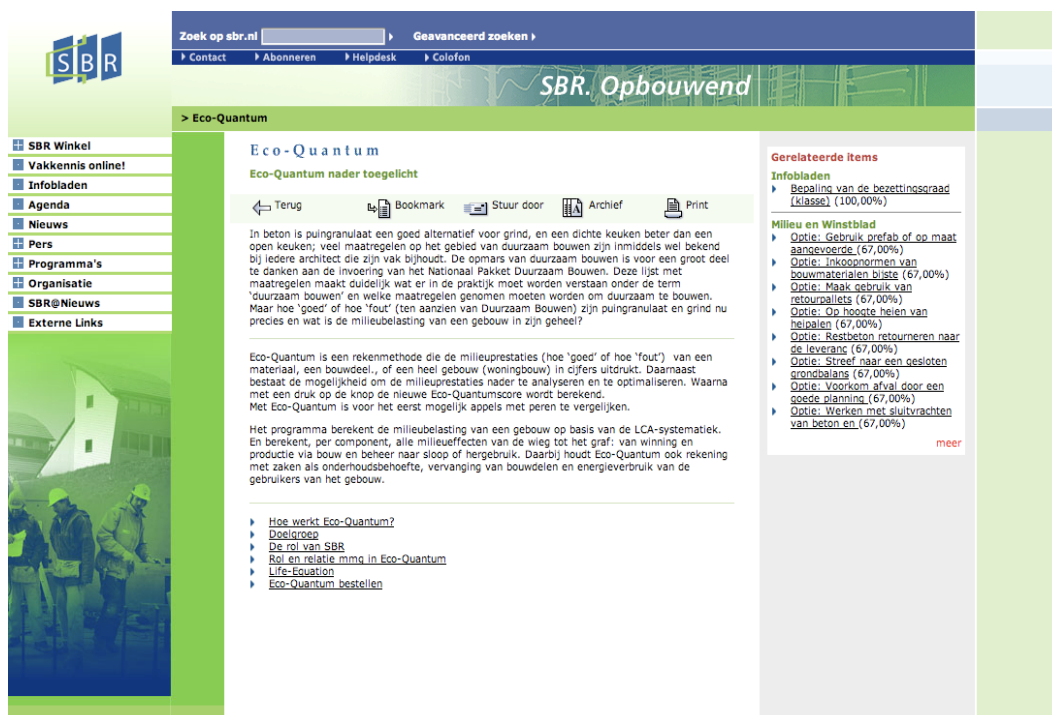


Figura 13 - <http://www.sbr.nl/default.aspx?ctid=2322>

Este programa trabalha com dados relativos ao consumo de energia e água, consumo de materiais, perfis ambientais com base num sistema de dados de ACV, usado para determinar os créditos atribuídos para materiais (tabela 10) [Cole, 2000; Gu, 2006].

Tabela 10 - Critérios de avaliação do Eco-Quantum

Critério	Itens
Recursos naturais	Consumos de energia, água e materiais
Cargas ambientais	Emissões atmosféricas, efluentes líquidos e resíduos
Uso do terreno	-
Biodiversidade	-

O Eco-Quantum relaciona os perfis ambientais ao material correspondente e aos fluxos de energia. Ao fazer isto as consequências ambientais relacionadas com todo o ciclo de vida do edifício são acumuladas na forma de consumo de matérias-

primas, consumo de energia, consumo de terreno (entradas), resíduos e emissões (saídas).

Os resultados dos efeitos ambientais são automaticamente convertidos em quatro indicadores: depleção de recursos, emissões, consumo de energia e produção de resíduos, de acordo com a metodologia do Sistema de Classificação Ambiental Holandês.

4.3.2.3 BEES (Building for Environmental and Economic Sustainability)

O BEES é uma ferramenta de design interactiva que ajuda os utilizadores a seleccionar os produtos para uso em projectos de construção, de forma a balancear critérios económicos e ambientais. Uma gama de materiais pode ser comparada para diferentes elementos dos edifícios, usando gráficos representativos de um conjunto de critérios ambientais e económicos, considerados individualmente ou em conjunto (figura 14) [Cole, 2000; Gu, 2006].



Figura 14 - <http://www.bfrl.nist.gov/oae/software/bees/>

Até ao momento a ferramenta contém 65 produtos para a construção. O BEES mede o desempenho dos produtos de construção usando a abordagem da avaliação pela ACV. Os desempenhos ambientais e económicos são combinados num valor de desempenho global usando a análise de decisão por multi-atributos da ASTM (American Society for Testing Materials). Os produtos de construção são definidos e classificados de acordo com o padrão de classificação para os elementos construtivos da ASTM.

Os dados quantitativos usados têm por base a tecnologia de construção dos E.U.A., estão incluídos na ferramenta e, portanto, não são requisitados aos utilizadores. O desempenho ambiental medido é calculado usando a abordagem ACV (tabela 11), cobrindo seis tipos de impactos (depleção de recursos, aquecimento global, acidificação, eutrofização, qualidade do ar interior e resíduos sólidos).

O desempenho económico é calculado usando o padrão ASTM, com uma abordagem pela Análise do Custo do Ciclo de Vida (ACCV), incluindo o custo de aquisição, instalação, operação, manutenção, reparação, substituição e eliminação após 50 anos de uso. Para o desempenho ambiental o BEES usa uma aproximação pela ACV, seguindo as orientações da norma ISO 14040 para a ACV. Ambas as performances são agregadas numa única pontuação.

Tabela 11 - Critérios do sistema BEES

Critério (desempenho)		Itens considerados no BEES
Critérios ambientais	Aquecimento global	CO ₂ , CH ₄ , NO _x
	Chuvas ácidas	SO _x , NO _x , NH ₃ , HF, HCl
	Eutrofização	P, NO _x , NH ₃ , matéria azotada, nitratos, fosfatos, COD
	Depleção recursos	Petróleo, gás natural, carvão, bauxite, Cd, Cu, Au, Fe, Pb, Mn, Hg, Ni, fosfato natural, Ag, Sn, U, Zn
	Qualidade do ar interior	COVs de coberturas de telhados, acamentos das paredes interiores, revestimentos de paredes e telhados, isolamento de paredes e tectos
	Resíduos sólidos	
	Smog	NO _x , COV
	Destruição camada de ozono	Brometo de metilo, tetracloreto de carbono, CFC11, CFC113, CFC114, CFC115, CFC12, Halon 1201, Halon 1202, Halon 1211, Halon 1301, Halon 2311, Halon 2401, Halon 2402, HCFC 123, HCFC124, HCFC141b, HCFC142b, HCFC22, HCFC225ca, HCFC225cb, metil clorofórmio HC 140a
	Toxicidade ecológica	Hidrocarbonetos, NO _x , CO, dioxinas, HCl
Critérios económico	Toxicidade humana	NH ₃ , benzeno, formaldeído, Pb, fenóis
	Custo inicial	-
	Custos futuros	-

Utiliza-se principalmente como ferramenta de selecção de materiais de construção, na fase de projecto. Os valores económicos e ambientais obtidos são transformados em valores relativos usando factores de ponderação. O utilizador pode determinar níveis de importância relativa para 1) resumir os valores dos impactos ambientais num resultado para o desempenho ambiental, 2) descontar custos futuros ao seu valor equivalente no presente, 3) converter os resultados do desempenho económico e ambiental num desempenho global [Cole, 2000; Gu, 2006].

4.3.2.4 SimaPro 7

Foi desenvolvido por uma empresa holandesa de consultores (Pré Consultants), e destina-se a comparar e analisar produtos com ciclos de vida complexos. Possui uma extensa base de dados de materiais, produtos e processos. É uma ferramenta complexa, que permite definir os limites do sistema a analisar, bem como o objectivo e âmbito da avaliação (figura 15).

Os dados introduzidos permitem definir o tipo de processo em análise, tipo de tecnologia, consumos de energia e recursos. Esta ferramenta inclui a base de dados Ecoinvent que possui dados de diferentes sectores da indústria, tais como metais, plástico, dados de transporte, etc. É possível incluir aspectos sociais e económicos na avaliação dos produtos e processos (tabela 12) [Pré Consultants, 2007].

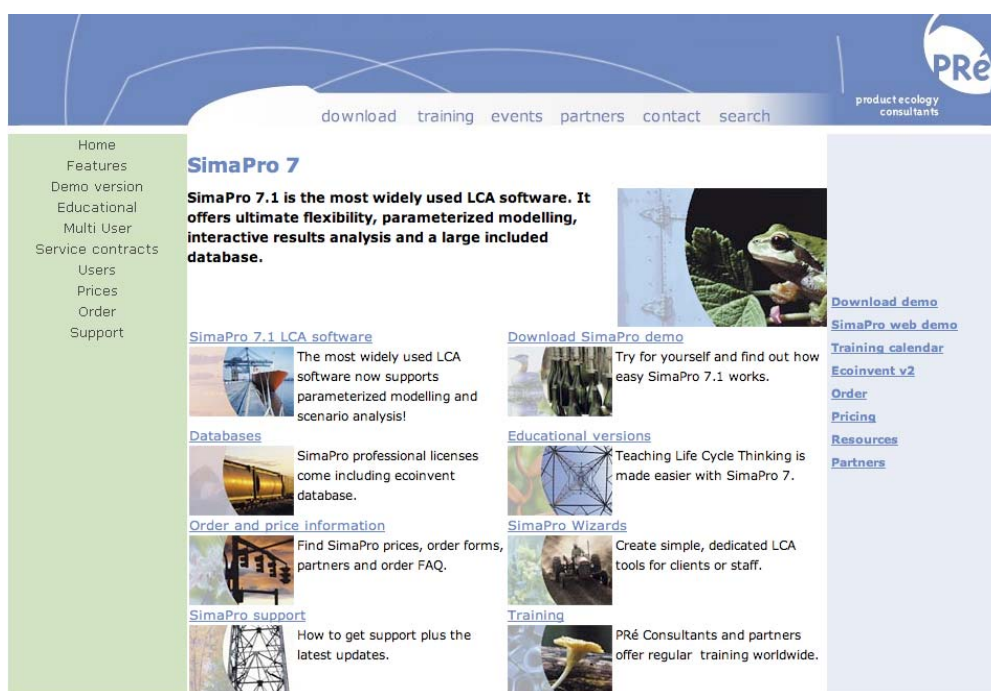


Figura 15 - <http://www.pre.nl/simapro/default.htm>

Tabela 12 - Critérios de avaliação do sistema SimaPro

Categoria	Critério
Recursos	Consumo combustíveis fósseis
	Consumo recursos minerais
Qualidade do ecossistema	Uso do terreno
	Chuvas ácidas
	Ecotoxicidade
	Alterações climáticas
Saúde humana	Destruição camada de ozono
	Substancias perigosas
	Efeitos no sistema respiratório
	Radiação ionizante

O sistema de ponderação pode ser definido pelo utilizador, estando à sua disposição diversas alternativas. Estas seguem um padrão definido pelo programa.

4.3.3 Comparação dos Sistemas

A tabela 13 compara os diferentes sistemas de classificação de edifícios. O sistema LEED é um dos mais usados e divulgados internacionalmente, possui subsistemas adaptados para edifícios residenciais, comerciais, escritórios, escolas, etc. O sistema inclui mais critérios e subcritérios de avaliação do que o GBTool e utiliza um sistema do tipo lista de verificação que facilita a sua aplicação. O GBTool sendo constituído por um consórcio de 25 países tem a vantagem de se encontrar mais adaptado à utilização em diferentes países, ao contrario do LEED que é muito focado na realidade Norte-americana. O sistema CASBEE foi desenvolvido no Japão, e à semelhança do LEED, pretende avaliar a sustentabilidade dos edifícios mediante a atribuição de uma classificação por pontos. No CASBEE, a principal diferença reside na forma como os critérios se encontram agrupados. Existe uma distinção entre os critérios que dizem respeito aos impactos ambientais do edifício e os critérios que estão relacionados com o desempenho global da construção. Estes sistemas estão enquadrados na realidade climática e nas tecnologias construtivas características do país onde são desenvolvidos, por essa razão a sua transposição para um outro país é complicada, por esse motivo,

também se desenvolveu em Portugal um sistema de classificação da sustentabilidade dos edifícios.

O sistema português, LiderA inspira-se sobretudo no sistema LEED, acrescentando alguns critérios e subcritérios de avaliação que o tornam mais completo e mais adaptado à realidade do sector da construção em Portugal. É dada uma maior importância à eficiência no consumo de recursos e ao impacto ambiental dos materiais, o que torna esta ferramenta mais abrangente. De uma forma geral estes sistemas não permitem a avaliação de materiais, produtos ou partes de um edifício. Estão vocacionados para a classificação dos edifícios como um todo, sendo o principal objectivo a atribuição de uma pontuação em função da sua sustentabilidade.

Na tabela 14 são comparados sistemas de análise de ciclo de vida, que estão mais indicados para a avaliação de produtos, materiais e sistemas. O Athena permite a avaliação, recorrendo a comparações gráficas, de no máximo cinco soluções em simultâneo. Possui uma base de dados muito completa, mas que está acessível apenas na versão comercial. O utilizador não tem controle sobre a forma como a análise de ciclo de vida é realizada, essa parte do processo não é acessível. Os dados introduzidos dizem respeito a uma descrição do projecto (quantidades de materiais, localização, áreas, tempo de vida do edifício, etc.). O Eco-Quantum é muito semelhante ao Athena, incluindo ainda na avaliação das escolhas, dados relativos à manutenção do edifício. Esta ferramenta considera a durabilidade de cada produto ou sistema do edifício e inclui as operações de manutenção, reparação e substituição dos materiais e produtos no impacto final da estrutura edificada. O sistema BEES, ao contrário dos anteriores, é acessível gratuitamente, permitindo aos utilizadores comparar diversas soluções construtivas de forma rápida e simples. A principal desvantagem é a sua base de dados não incluir alguns materiais (como por exemplo a cortiça), tornando impossível a sua aplicação no estudo de caso realizado anteriormente. Os dados do programa têm como base a tecnologia de construção adoptada nos E. U. A., o que limita a sua utilização quando se pretende analisar soluções alternativas que não são muito

comuns no mercado. É uma ferramenta simples de utilizar e inclui um conjunto de critérios e subcritérios de avaliação bastante completo, se aliada a uma boa base de dados pode tornar-se uma ferramenta muito eficaz para a selecção de materiais e produtos. O SimaPro destina-se a avaliar produtos com ciclos de vida complexos. É uma ferramenta muito detalhada e que exige um conhecimento muito completo de todo o ciclo de vida dos produtos, o que torna a sua utilização bastante difícil para um utilizador com pouca experiência. A base de dados é muito completa e permite inclusivamente a inclusão de aspectos sociais nos critérios de avaliação.

Uma das desvantagens destas ferramentas é que as versões demonstrativas são muito limitadas, não permitindo a sua aplicação ao estudo de caso.

Por outro lado estes programas estão adaptados ao seu país de origem, o que faz com que as bases de dados não incluam alguns dos materiais considerados neste trabalho, é o caso do aglomerado negro de cortiça.

Por causa destas dificuldades alguns autores, quando pretendem comparar determinados sistemas ou produtos desenvolvem metodologias próprias. No ponto seguinte é descrita uma dessas metodologias.

Tabela 13 - Comparação entre os sistemas de classificação de edifícios

	GBC	BREEAM	LEED	CASBEE	LiderA
País	Canadá	Reino Unido	E.U.A.	Japão	Portugal
Entidade	National Resource Canada (NRC) em 1995	Building Research Establishment no Reino Unido em 1990	US Green Building Council em 2000	JSBC (Japan Sustainable Building Consortium)	IST - Instituto Superior Técnico
Objectivo	Investigação e contributo para o estado da arte da avaliação do desempenho do edifício durante o projecto ou em acabamento	Avaliação focada no mercado, consensual e voluntária	Avaliação voluntária e baseada no mercado	Pretende satisfazer requisitos políticos e as necessidades do mercado, para atingir uma sociedade mais sustentável, através do ciclo de vida do edifício	Primeira ferramenta portuguesa de avaliação de edifícios.
Uso final	Edifício	Edifício	Edifício	Edifício	Edifício
Público-alvo	Investigadores, organizações	Proprietários, utilizadores	Equipas projectistas, arquitectos, construtores	Projectistas, planeadores, construtores	Projectistas, construtores, arquitectos.

Tabela 14 - Comparação entre os sistemas de análise de ciclo de vida

	ATHENA	ECO-QUANTUM	BEES	SimaPro
País	Canadá	Holanda	E.U.A.	Holanda
Entidade	Athena Sustainable Materials Institute	IVAM Environ. I Research & W/E consultores em 1999	National Institute of Standards and Technology (NIST) em 1994	Pré Consultants
Objectivo	Encoraja a selecção de materiais e a adopção de estratégias de design para reduzir os impactos ambientais	Análise do ciclo de vida para produtos de construção e melhorias do projecto	Ferramenta de suporte à decisão baseada em consensos	Ferramenta da ACV para produtos e processos
Uso final	Edifício/Produtos	Produtos	Produtos	Produtos
Público-alvo	Arquitectos, investigadores, engenheiros	Arquitectos, investigadores do sector da construção	Projectistas, construtores, produtores de materiais/produtos	Projectistas, construtores, produtores de materiais/produtos

4.3.4 Outras Ferramentas de avaliação de sustentabilidade

As ferramentas analisadas anteriormente destinam-se à classificação de edifícios e à análise de ciclo de vida de materiais, produtos ou sistemas. Em algumas situações, nomeadamente quando o que se pretende avaliar é a sustentabilidade de uma solução construtiva, alguns autores optam por uma adaptação destes sistemas de avaliação, desenvolvendo o seu próprio método de avaliação [Mateus et al., 2006].

Como exemplo, refere-se aqui a Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas (MARS-SC) desenvolvida por Ricardo Mateus e Luís Bragança. Estes autores realizaram uma avaliação da sustentabilidade de várias soluções construtivas, com base num conjunto de parâmetros divididos em três grandes grupos [Mateus et al., 2006]:

- Parâmetros ambientais – avaliando-se as consequências a nível ambiental das diferentes soluções construtivas;
- Parâmetros funcionais – parâmetros relacionados com o desempenho de cada elemento construtivo;
- Parâmetros económicos – custos relacionados com o ciclo de vida dos sistemas construtivos (produção, transporte, reciclagem, etc.).

A tabela 15 mostra os parâmetros considerados para cada um dos indicadores.

Tabela 15 - Parâmetros para os indicadores MARS-SC [Mateus et. al., 2006]

Indicador	
Ambiental	Potencial de aquecimento global
	Energia primária incorporada
	Conteúdo reciclado
	Potencial de reciclagem
	Potencial de reutilização
	Quantidade de matérias/recursos naturais utilizados
	Toxicidade
	Acidificação
	Eutrofização das reservas de água
	Quantidade de água incorporada
Funcional	Isolamento sonoro a sons de condução aérea
	Isolamento sonoro a sons de percussão
	Isolamento térmico
	Durabilidade
	Comportamento ao fogo
	Impermeabilidade
	Estabilidade
	Comportamento sísmico
	Constructibilidade
	Flexibilidade
	Inovação e desenho
Económico	Custo de construção
	Custo de manutenção
	Custo de reabilitação
	Custo de desmantelamento/demolição
	Valor residual
	Custo do tratamento para devolução ao ambiente natural

Depois de definidos os parâmetros, a metodologia MARS_SC quantifica-os utilizando dados obtidos por consulta a bases de dados, ferramentas de simulação e informação recolhida junto de especialistas.

Para a avaliação é atribuído a cada parâmetro um peso, esta distribuição é exemplificada na tabela 16.

Tabela 16 - peso de cada indicador na MARS-SC

Indicador	Peso
Ambiental	0,4
Funcional	0,4
Económico	0,2

Os pontos na escala da sustentabilidade são atribuídos a cada solução construtiva através de uma fórmula de cálculo com os factores de ponderação indicados. Neste modelo de avaliação de sustentabilidade encontram-se os indicadores habituais presentes nos programas de avaliação atrás focados como, por exemplo, o LiderA [Pinheiro, 2007].

5 Estudo de um Caso de Aplicação de um Sistema de Avaliação do Ciclo de Vida de Materiais a Soluções de Isolamento Térmico

5.1. Descrição do sistema a estudar

Um dos aspectos mais importantes na construção sustentável é a eficiência energética dos edifícios. A redução do consumo energético no aquecimento e arrefecimento das habitações leva a uma diminuição do consumo de combustíveis fósseis e a impactos ambientais, nomeadamente no que diz respeito às emissões de gases responsáveis pelo efeito de estufa.

Uma das formas de melhorar o desempenho energético de uma construção é aumentando o isolamento térmico da sua estrutura, ou seja aplicando materiais de baixa condutividade térmica, materiais de isolamento térmico.

Apesar da importância destes materiais e dos benefícios da sua aplicação, do ponto de vista da poupança energética, é necessário considerar também as implicações ambientais que estes materiais têm durante a sua produção, utilização e eliminação.

O processo de selecção do material mais adequado do ponto de vista ambiental, pode ser apoiado por informação sobre os materiais, metodologias e ferramentas de avaliação como as descritas no ponto anterior.

Este estudo de caso pretende comparar diferentes alternativas para o isolamento térmico num sistema de isolamento de fachadas pelo exterior (ETICS), tendo em conta os critérios de construção sustentável. Para além disso, este estudo de caso faz ainda a comparação do sistema ETICS em relação ao sistema convencional (parede dupla com isolamento térmico), nomeadamente considerando uma estrutura edificada simples e o reflexo no seu comportamento térmico, eficiência energética e desempenho ambiental. No sistema ETICS considera-se ainda a utilização de um material natural face a um material sintético.

5.1.1 Isolamento térmico de fachadas pelo exterior (ETICS)

Este sistema é constituído por uma placa de isolamento térmico que é colada ao suporte ou parede (figura 16). Pode ser aplicado sobre paredes de betão, alvenaria de tijolo ou pedra. O isolamento é coberto com várias camadas de reboco armado com uma rede de fibra de vidro. Posteriormente é aplicado um acabamento, normalmente, um revestimento plástico (RPE). Segundo as normas europeias [EOTA, 2005] este sistema deverá apresentar uma resistência térmica mínima de $1 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$.

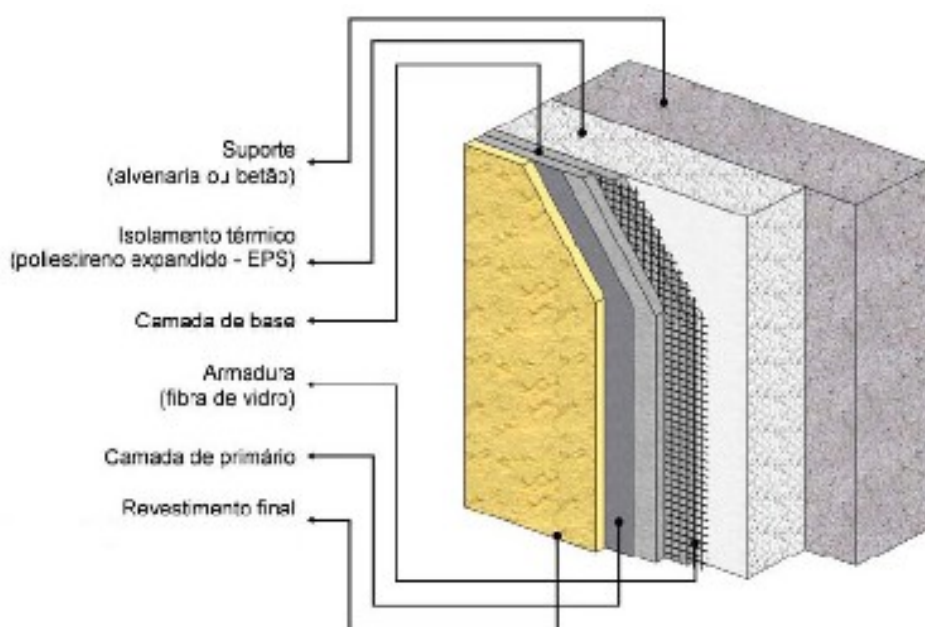


Figura 16 - Estrutura de uma fachada ETICS

Pode ser aplicado na reabilitação de edifícios, melhorando o seu desempenho térmico, tornando as construções antigas mais sustentáveis. O sistema permite reduzir as pontes térmicas possibilitando a utilização de menores espessuras de isolamento. Assim, diminui o consumo de material de isolamento. O isolamento pelo exterior contribui ainda para a conservação das fachadas, aumentando a sua durabilidade.

5.1.2 Materiais para isolamento térmico de fachadas

Actualmente, estão disponíveis no mercado diversos materiais para isolamento térmico. Para este estudo foram seleccionados quatro. O poliestireno expandido e o poliestireno extrudido, pois são os mais utilizados no sistema ETICS, seguindo-se a lã de rocha; a utilização da cortiça é recente, apresentando-se aqui como uma alternativa no grupo dos materiais naturais.

Poliestireno extrudido

O poliestireno extrudido é produzido a partir de cristais de poliestireno, aos quais é adicionado um agente expansivo, dando origem a placas rígidas moldadas num processo de extrusão ou moldagem. São isolamentos muito utilizados em Portugal, podendo ser aplicados em telhados paredes e pisos (figura 17).

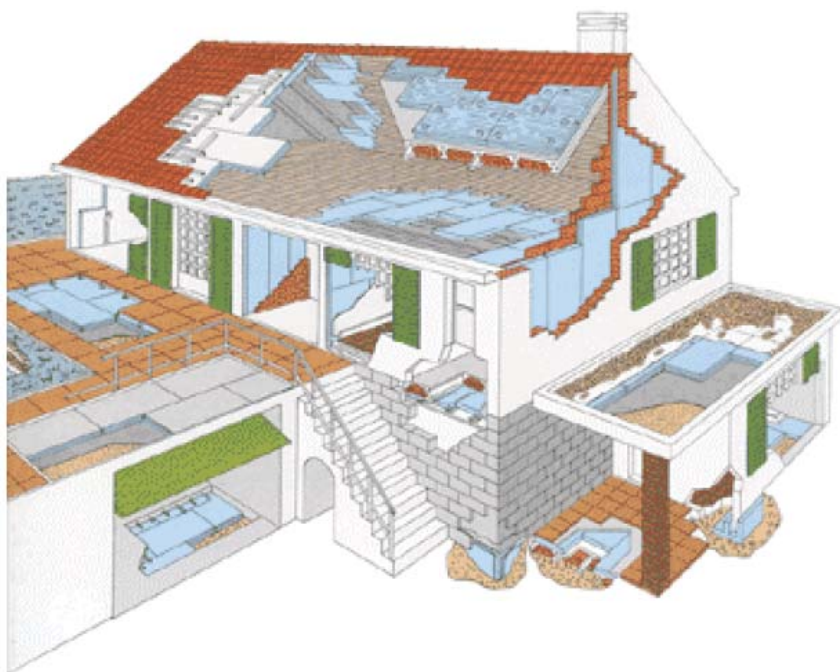


Figura 17 - Diversas aplicações do poliestireno numa habitação

É um material com elevada resistência à absorção de água, com boas propriedades mecânicas, elevada durabilidade e totalmente reciclável. Na sua produção já não são utilizados CFC's ou HCFC's responsáveis pela degradação da camada de ozono. A tabela 17 mostra algumas das características deste produto.

Tabela 17 - Propriedades do XPS (Fonte: Dow Portugal)

Propriedade	
Densidade (Kg/m ³)	30
Condutibilidade Térmica (20°C) (W/mK)	0,035
Resistência térmica (m ² .K/W)	0,85 – 1,70
Resistência compressão (kPa)	250
Absorção de água por imersão (%vol.)	< 1,5
Factor de resistência à difusão do vapor de água	80
Capilaridade	Nula
Coefficiente dilatação linear (mm/m°C)	0,07
Temperaturas de utilização (°C)	-50 °C a 75 °C

Poliestireno expandido

A matéria-prima é a mesma do poliestireno expandido, mas o processo de fabrico é diferente. É utilizado também um agente expensor, do qual resulta um aglomerado de partículas que é moldado em placas rígidas com uma grande quantidade de ar no seu interior. A tabela 18 mostra as principais características.

Tabela 18 - Propriedades do EPS (Fonte: ACEPE)

Propriedade	
Densidade (Kg/m ³)	15
Condutibilidade Térmica (20°C) (W/m°C)	0,040
Resistência à Flexão (kPa)	100
Resistência à compressão deformação < 2% (kPa)	15
Resistência à compressão deformação < 10% (kPa)	60
Calor Específico (KJ/Kg°C)	1,2
Estabilidade de forma à temperatura (°C)	85
Rigidez Dinâmica (por 50 mm de espessura) (N/cm ³)	126
Coefficiente de Dilatação linear (°C ⁻¹)	5,7 x 10 ⁻⁵

Aglomerado negro de cortiça

A cortiça é um produto 100% natural que tem origem numa árvore, o sobreiro. É um material leve, com elevada elasticidade, compressibilidade e impermeabilidade. Este material pode ser totalmente reciclado e é biodegradável, sendo ainda pouco utilizado como isolamento térmico (figura 18).

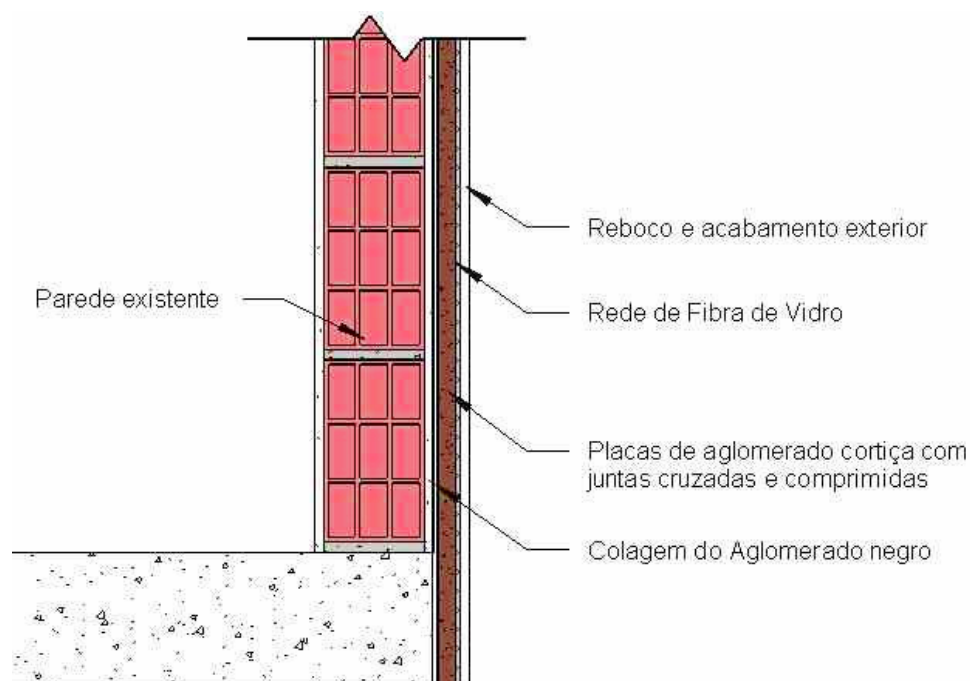


Figura 18 - Aplicação do aglomerado de cortiça numa fachada ETICS

O aglomerado negro expandido é um material com propriedades de isolamento térmico, acústico e vibrátil de edifícios. A tabela 19 resume as suas principais propriedades.

Tabela 19 - Propriedades do aglomerado de cortiça (Fonte: Grupo Amorim)

Propriedade	
Densidade (Kg/m ³)	64
Condutibilidade Térmica (20°C) (W/m°C)	0.037/0.040
Resistência à Tracção (KPa))	110
Tensão de compressão (KPa)	45
Calor Específico (KJ/Kg°C)	0,84
Temperaturas de utilização (°C)	-200 °C a 130 °C
Estabilidade dimensional 70°C / 50% HR (%)	0,1
Coeficiente de Dilatação Térmica	25 a 50 x 10 ⁶

Lã de rocha

A lã de rocha é produzida a partir de rochas de origem vulcânica às quais podem ser adicionadas escórias (material reciclado). É um material incombustível, com boas propriedades mecânicas, podendo ser reciclado no fim do seu uso. Não é tão utilizada como os poliestirenos no isolamento térmico de fachadas. A tabela 20 resume algumas características.

Tabela 20 - Características da lã de rocha (Fonte:)

Propriedade	
Densidade (Kg/m ³)	120
Condutibilidade Térmica (20°C) (W/mK)	0.037/0.040
Resistência à Tracção normal ao nível da placa (Kg/cm ²)	0,94
Resistência à Flexão (Kg/cm ²)	1,8
Limite de Elasticidade (Kg/cm ²)	1,0
Resistência à compressão (Kg/cm ²)	0,2
Tensão de Compressão (Kg/cm ²)	1,78
Calor Específico (KJ/Kg°C)	1,67
Temperaturas de utilização (°C)	-200 °C a 130 °C
Rigidez Dinâmica (por 50 mm de espessura) (N/cm ³)	126
Coeficiente de Dilatação Térmica	25 a 50 x 10 ⁶

5.2. Metodologia experimental

Após a análise dos programas e guias referenciados nos capítulos anteriores, concluiu-se que não existe um programa específico que aplique todos os critérios ambientais para a selecção de materiais definidos no capítulo 3.

A maioria dos sistemas destina-se à avaliação global de edifícios, não estando vocacionados para a avaliação de materiais fora do contexto de uma dada construção. Em alguns casos a utilização das ferramentas seria demasiado complexa e demorada, não sendo por isso compatível com os tempos definidos para este estudo. No entanto, é possível adoptar o sistema de classificação LiderA aplicando-o com algumas adaptações aos critérios definidos no capítulo 3 e utilizando-o para a avaliação dos materiais analisados e comparados no estudo de caso apresentado no ponto 5.

A comparação dos materiais foi feita sem recurso a um programa ou ferramenta específica, tendo os dados recolhidos sido obtidos nas bases de dados de materiais dos programas SimaPro e BEES e também das fichas de caracterização técnica destes produtos. A classificação dos materiais, segundo os critérios ambientais definidos no capítulo 3, foi realizada segundo um sistema de classificação baseado nas ferramentas analisadas.

A comparação entre os materiais alternativos para o isolamento térmico de fachadas pelo exterior foi assim realizada segundo a metodologia seguinte:

- Definição das características de isolamento térmico de uma parede ETICS;
- Selecção de materiais para o isolamento térmico;
- Consulta de bases de dados utilizadas pelo programa SimaPro e pelo BEES, para obtenção dos dados de desempenho ambiental dos materiais em análise;
- Realização de um estudo com base nos critérios ambientais definidos no capítulo 3 utilizando a metodologia e os critérios do sistema de classificação LiderA;
- Análise dos resultados.

Este estudo de caso efectua ainda uma comparação do comportamento térmico e ambiental numa estrutura edificada simples das soluções analisadas. Na secção 5.3.3. a solução de isolamento térmico de fachadas pelo exterior (ETICS) é analisada relativamente a uma solução mais tradicional, a parede dupla com isolamento na caixa de ar. No caso do sistema ETICS, apresenta-se o impacto da escolha de um material de isolamento natural ou artificial, na sequencia da primeira parte deste estudo de caso.

5.3. Estudo de caso: estudo comparativo do sistema ETICS.

5.3.1 Desempenho ambiental dos materiais de isolamento considerados no estudo de caso

Nas figuras seguintes apresentam-se os resultados da análise do desempenho dos materiais. Os gráficos foram elaborados com recurso aos dados fornecidos pela base de dados dos programas BEES e SimaPro. Estes dados têm como referência 1 Kg de material produzido.

A avaliação ambiental analisa as diferenças entre as emissões de efluentes gasosos, líquidos e sólidos dos materiais estudados. Os resultados estão ilustrados na figura 19.

Os valores de energia incorporada na produção de 1 Kg de material foram obtidos através da consulta da base de dados de materiais BUWAL 250 do programa SimaPro 7 [Pré Consultants, 2007].

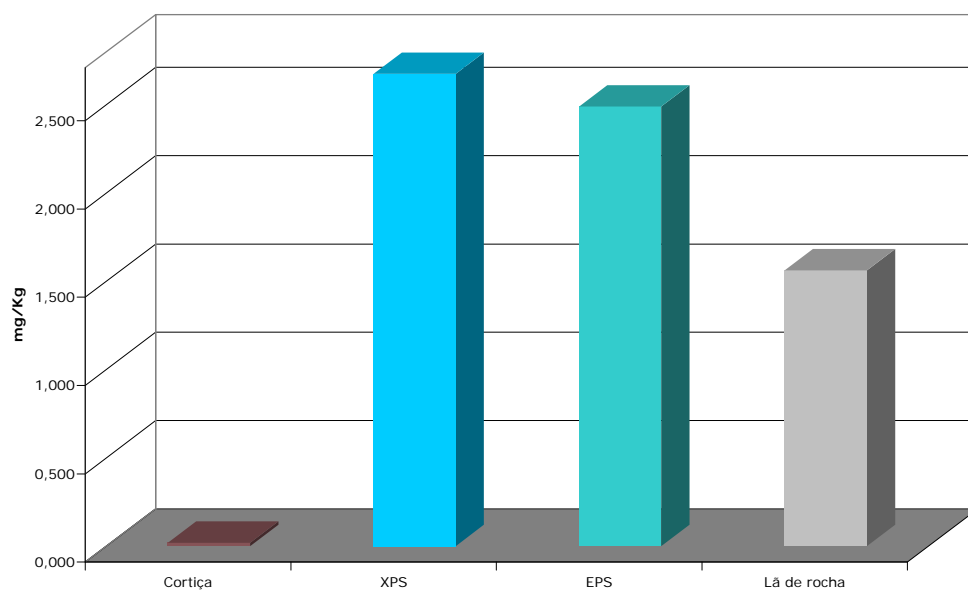


Figura 19 - Desempenho ambiental, somatório das emissões para ar, água e solo

Na figura 20 é possível ver uma comparação entre a energia incorporada nos materiais estudados.

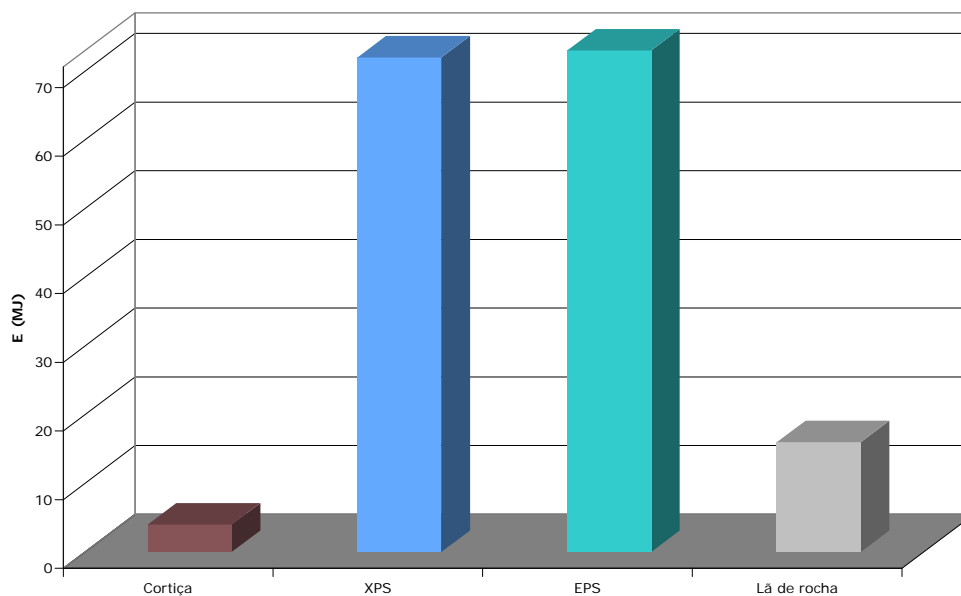


Figura 20 – Energia incorporada na produção dos materiais estudados

O desempenho dos isolamentos estudados foi avaliado pelo valor de referência para a condutividade térmica de cada material. Neste caso quanto mais baixa a condutividade (k) melhor o desempenho do produto (figura 21). Os dados da condutividade dos materiais foram obtidos no GreenSpec Guide [Wilson et al 2005].

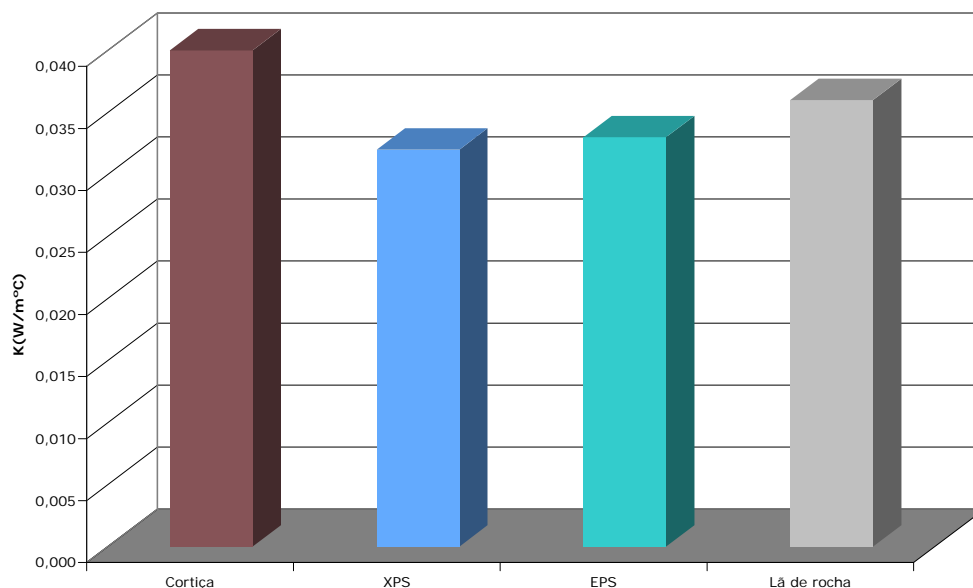


Figura 21 – Eficácia do isolamento em função da condutividade térmica dos materiais estudados

Em conclusão, os dois materiais com melhor eficácia de isolamento, os poliestirenos (XPS e EPS), são os que apresentam um maior nível de energia incorporada e mais emissões para o ambiente.

A cortiça apesar de apresentar um valor mais elevado de condutividade do calor (menor eficácia), apresenta vantagens do ponto de vista ambiental (baixas emissões). A sua baixa energia incorporada indica que pode ser um material de grande interesse para aplicação no isolamento de fachadas.

Este material apresenta ainda como benefício o facto de ser de origem local (Portugal é o maior produtor) e é totalmente reciclável. Conclui-se assim que a

cortiça se apresenta como uma alternativa interessante e que deve ser explorada, em oposição aos materiais tradicionais.

Na tabela 21 apresenta-se uma análise qualitativa dos quatro materiais analisados no estudo de caso. Esta análise resume a informação recolhida sobre estes materiais no guia GreenSpec Guide [Wilson et al 2005; Wilson, 2006].

Tabela 21 – Resumo das principais características dos materiais de isolamento [Wilson et al 2005]

	XPS	EPS	Lã de rocha	Cortiça
Reciclável	Sim.	Sim.	Sim.	Sim.
Material reciclado	Pode conter material reciclado.	Não	Pode conter material reciclado.	Pode conter material reciclado.
Matéria-prima	Derivados dos combustíveis fósseis. Os agentes expansores são livres de CFC's e HCFC's.	Derivados dos combustíveis fósseis. Os agentes expansores são livres de CFC's e HCFC's.	Rochas de origem vulcânica.	Proveniente de recursos renováveis produzidos localmente.
Biodegradável	Não.	Não.	Não	Sim.
Toxicidade	Emite fumos tóxicos quando arde e deteriora-se por acção dos raios UV.	Emite fumos tóxicos quando arde e deteriora-se por acção dos raios UV.	Emite fumos tóxicos quando arde, emite substâncias perigosas na instalação.	Não tóxico
Durabilidade	Elevada. Boa resistência mecânica.	Elevada. Boa resistência mecânica.	A compressão e a infiltração de vapor podem reduzir o desempenho.	Estabilidade dimensional, boa resistência à compressão e resistente a fungos e bactérias.
Energia incorporada	Elevada.	Elevada.	Elevada.	Baixa.

5.3.2 Avaliação dos materiais segundo os critérios ambientais definidos

Tendo em conta a metodologia utilizada nos sistemas de classificação LEED e LiderA, os critérios ambientais definidos no ponto 3 (tabela 22) podem ser considerados subcritérios de diferentes grupos. Os materiais de isolamento seleccionados para o estudo de caso podem ser avaliados segundo uma escala de classificação previamente convencionada, sendo depois comparados em função da pontuação final obtida segundo os subcritérios estabelecidos.

A escala de avaliação de cada subcritério é de 0, 3 e 5 pontos, e está exemplificada na tabela 23.

Tabela 22 - Listagem dos critérios de selecção (capítulo 3).

Critério	
1	Materiais que aumentam a eficiência energética do edifício.
2	Redução do consumo de materiais e eliminação dos materiais acessórios
3	Materiais recuperados
4	Materiais produzidos localmente
5	Materiais reciclados e recicláveis
6	Materiais com origem em recursos renováveis
7	Materiais com baixa emissão de poluentes para o ambiente
8	Materiais que não afectam a saúde dos utilizadores dos edifícios
9	Materiais com elevada durabilidade e reduzida necessidade de manutenção
10	Materiais com baixa energia incorporada e de fácil processamento

Tabela 23 - Sistema de pontuação dos critérios ambientais

Pontos	
0	O critério não é cumprido (não satisfaz)
3	Cumpre os requisitos mínimos (satisfaz)
5	Cumpre na totalidade o requisito (muito bom)

Os grupos de critérios obtidos do sistema LiderA e a correspondência estabelecida com os subcritérios definidos no capítulo 3 é apresentada na tabela 24.

Tabela 24 - Correspondência entre critérios e subcritérios

Grupo	Subgrupo	Critério	Subcritério correspondente (cap. 3)
Eficiência no consumo de recursos	Energia	Desempenho energético	1 e 10
	Materiais	Consumo de materiais	2 e 3
		Materiais locais	4
		Materiais reciclados e renováveis	5
		Materiais certificados ambientalmente/materiais de baixo impacto	6
Cargas ambientais	Emissões atmosféricas	Substâncias com potencial de aquecimento global e afectação da camada de ozono	7
Ambiente interior	Qualidade do ar interior	Emissão de substâncias nocivas para a saúde dos ocupantes	8
Acessibilidade e durabilidade	Durabilidade	Durabilidade	9

Os quatro materiais estudados podem agora ser avaliados segundo estes critérios. Nas tabelas 25 a 28 apresentam-se os resultados dessa avaliação. Para a pontuação dos critérios foram utilizados os resultados do ponto 5.3.1. nas situações em que não foi possível obter dados não foi dada qualquer pontuação ao critério.

Tabela 25 - Resultados da avaliação para o poliestireno extrudido

Critério	Pontos	Observações
Desempenho energético	3	Elevada energia incorporada, mas boa eficácia como isolamento.
Consumo de materiais	n.d.	
Materiais locais	0	
Materiais reciclados e renováveis	3	Pode conter material reciclado. (tabela 19)
Materiais certificados ambientalmente e materiais de baixo impacto	0	Origem em combustíveis fósseis.
Substâncias com potencial de aquecimento global e afectação da camada de ozono	0	Níveis elevados emissão poluentes (figura 19)
Emissão de substâncias nocivas para a saúde dos ocupantes	5	
Durabilidade	5	
Total	16	

Tabela 26 - Resultados da avaliação para o poliestireno expandido

Critério	Pontos	Observações
Desempenho energético	3	Elevada energia incorporada, mas boa eficácia como isolamento.
Consumo de materiais	n.d.	
Materiais locais	0	
Materiais reciclados e renováveis	0	Ver tabela 19
Materiais certificados ambientalmente e materiais de baixo impacto	0	Origem em combustíveis fósseis.
Substâncias com potencial de aquecimento global e afectação da camada de ozono	0	Níveis elevados emissão poluentes (figura 19)
Emissão de substâncias nocivas para a saúde dos ocupantes	5	
Durabilidade	5	
Total	13	

Tabela 27 - Resultados da avaliação para o aglomerado de cortiça

Critério	Pontos	Observações
Desempenho energético	5	Muito baixa energia incorporada
Consumo de materiais	n.d.	
Materiais locais	5	Origem local
Materiais reciclados e renováveis	5	Totalmente reciclável e biodegradável
Materiais certificados ambientalmente e materiais de baixo impacto	0	Material origem natural
Substâncias com potencial de aquecimento global e afectação da camada de ozono	5	Muito baixa emissão poluentes
Emissão de substâncias nocivas para a saúde dos ocupantes	5	
Durabilidade	n.d.	
Total	25	

Tabela 28 - Resultados da avaliação para a lã de rocha

Critério	Pontos	Observações
Desempenho energético	3	Elevada energia incorporada, bom desempenho como isolamento
Consumo de materiais	n.d.	
Materiais locais	0	
Materiais reciclados e renováveis	3	Pode conter material reciclado
Materiais certificados ambientalmente e materiais de baixo impacto	3	
Substâncias com potencial de aquecimento global e afectação da camada de ozono	3	Menores emissões do que os poliestirenos (figura 19)
Emissão de substâncias nocivas para a saúde dos ocupantes	5	
Durabilidade	5	
Total	22	

Na figura 22 resume a comparação entre o total de pontos obtidos para cada material.

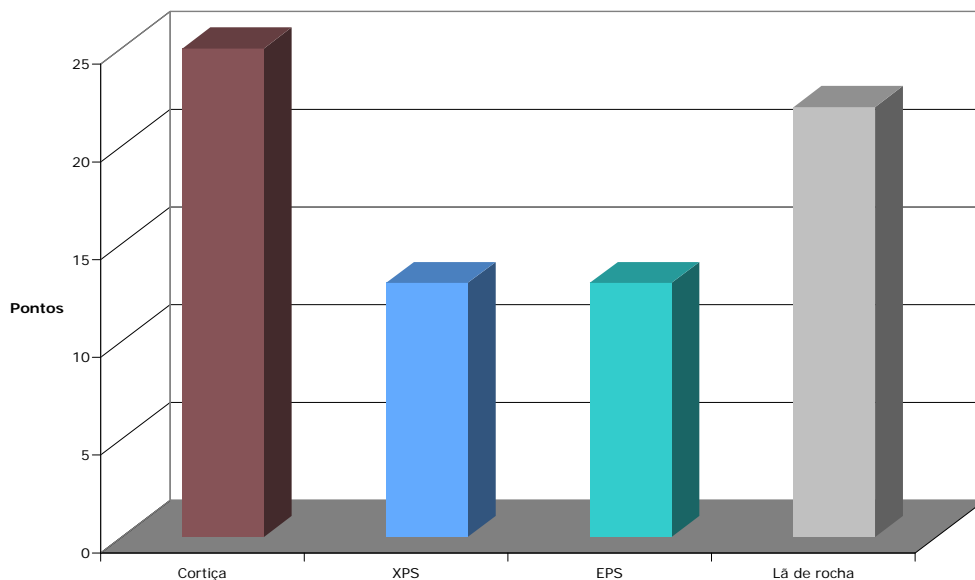


Figura 22 - Análise comparativa da pontuação obtida para os materiais estudados

À semelhança da avaliação de propriedades no ponto 5.3.1, mais uma vez a cortiça é o material que apresenta os melhores resultados, tendo em conta os critérios ambientais estabelecidos no capítulo 3. Os materiais sintéticos são aqui penalizados devido à sua carga ambiental e energética de partida.

5.3.3 Estudo comparativo da solução ETICS com o sistema de parede dupla com isolamento térmico

Este estudo pretende comparar a solução de isolamento térmico de fachadas pelo exterior (ETICS) com uma solução mais tradicional, a parede dupla com isolamento na caixa de ar. Em termos dos materiais analisados neste estudo, nas secções anteriores, optou-se pela comparação entre o poliestireno extrudido e a cortiça, uma vez que os outros (poliestireno expandido e a lã de rocha) apresentam comportamentos semelhantes, respectivamente. Comparativamente,

a cortiça representa ainda um material de produção nacional interessante do ponto de vista empresarial.

Serão assim analisadas quatro soluções:

- Parede dupla com isolamento em poliestireno extrudido;
- Parede dupla com isolamento de aglomerado negro de cortiça;
- Parede ETICS com isolamento em poliestireno extrudido;
- Parede ETICS com isolamento em aglomerado negro de cortiça.

Para uma maior simplificação de cálculos foi considerado um quarto com 12 m² (3x4 m), não se considerando para o estudo a existência de janelas ou portas (figura 23). A parede que está em contacto com o exterior tem uma área de 9 m² (3x3 m).

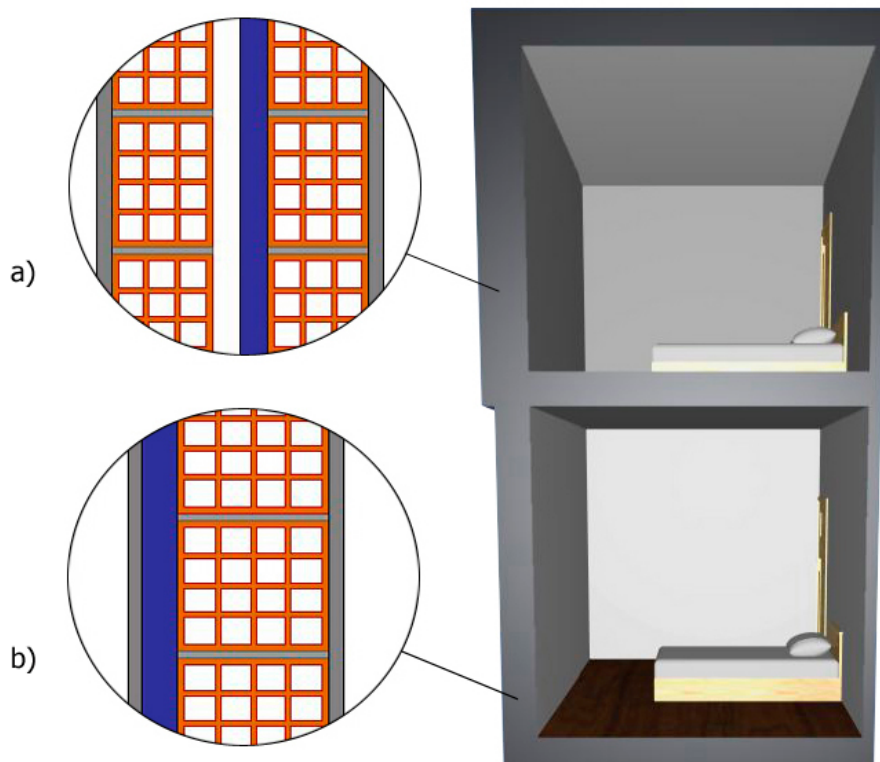


Figura 23 - Esquema do edificado com as paredes analisadas no estudo de caso: a) Parede dupla tradicional b) Parede com sistema ETICS

A parede dupla é constituída por um pano interior e um pano exterior de alvenaria com 15 cm de espessura. A caixa de ar tem cerca de 4 cm e a espessura do isolamento que se encontra no seu interior é também de 4 cm. A parede encontra-se revestida com 2 cm de reboco tradicional no interior e no exterior (figura 24) [Barros, 2001].

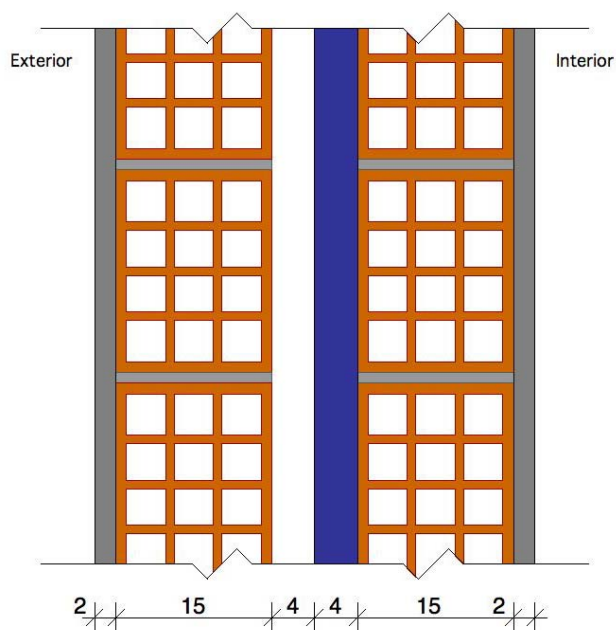


Figura 24 - Representação esquemática da parede dupla

A parede ETICS é formada por um pano de alvenaria de 22 cm, uma camada de isolamento de 5 cm, uma camada de 2 cm de reboco armado no exterior e uma camada no interior de reboco tradicional (figura 25) [Barros, 2001].

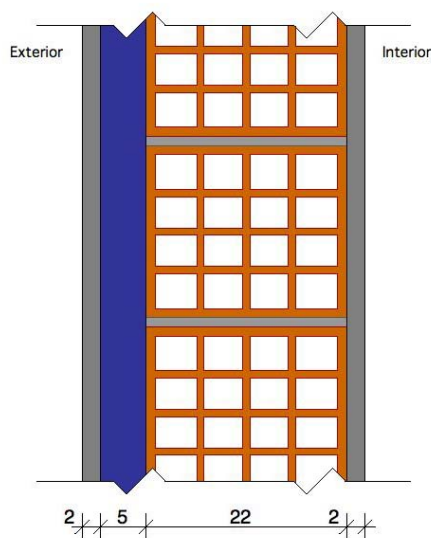


Figura 25 - Representação esquemática de uma parede ETICS

As figuras 26 e 27 comparam respectivamente a energia incorporada e o impacto ambiental gerado por cada uma das paredes até ao momento da construção. A solução ETICS apresenta menor energia incorporada e um mais baixo índice de impacto ambiental. Estes índices foram calculados a partir das mesmas bases de dados consideradas nas secções anteriores, nomeadamente as do SimaPro e as do BEES. O cálculo do impacto ambiental considera as emissões gasosas, líquidas e sólidas, e também os resíduos gerados após demolição. A energia incorporada entra em linha de conta com a energia envolvida no processo de extracção de matérias-primas e processamento dos materiais até à obtenção do produto final. Não é relevante a diferença entre os dois materiais de isolamento térmico utilizados. Este facto explica-se pela pequena quantidade de material utilizado face aos restantes constituintes da parede. O grande contributo para a energia incorporada das paredes e para o impacto ambiental é dado pelo tijolo cerâmico, o que acaba por diluir a diferença entre o poliestireno extrudido e a cortiça.

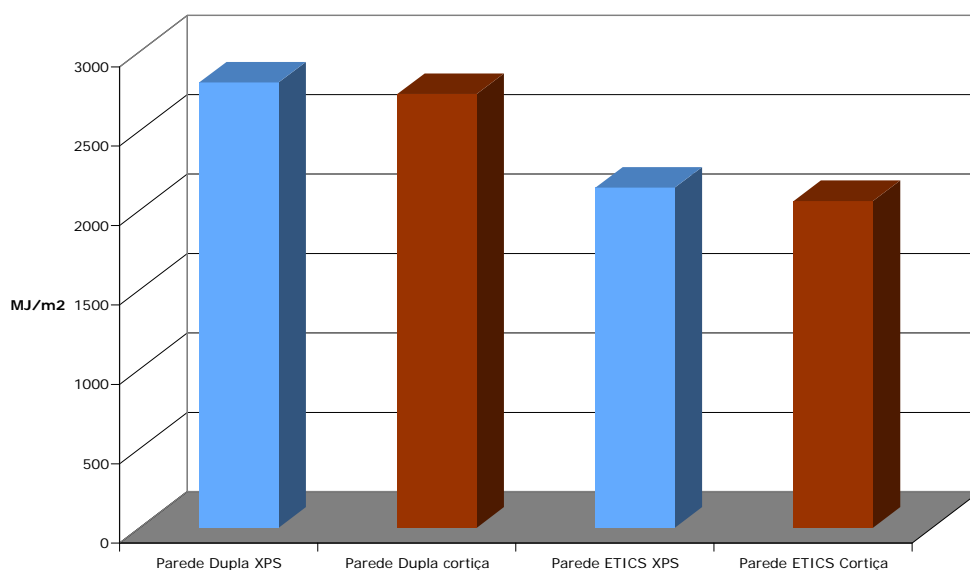


Figura 26 - Energia incorporada nas paredes estudadas

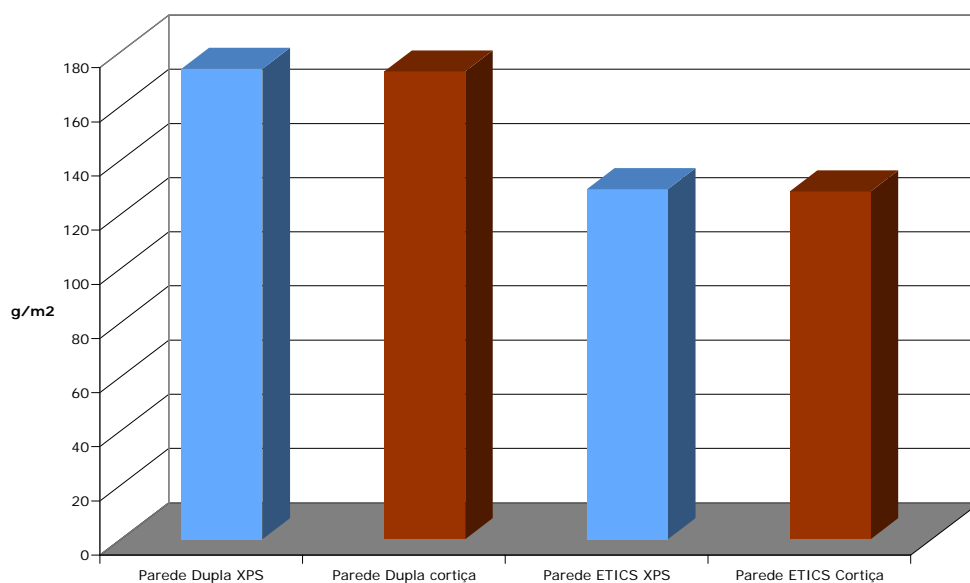


Figura 27 – Impacto ambiental para cada uma das soluções em estudo

No entanto, é de salientar a redução em cerca de 30% no valor da energia incorporada e no índice de impacto ambiental quando se altera a solução construtiva de uma parede dupla convencional para uma parede com isolamento ETICS.

Para a avaliação do consumo de energia resultante da utilização de cada uma destas soluções foi considerado o sistema de cálculo definido no novo RCCTE [Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril], tendo sido considerada uma zona climática de inverno I₃ com uma duração da estação de aquecimento de 8 meses. A figura 28 apresenta os resultados para o consumo energético associado a cada uma das paredes. Esta figura expressa a energia consumida para manter o quarto a uma temperatura de 20 °C durante a estação de aquecimento.

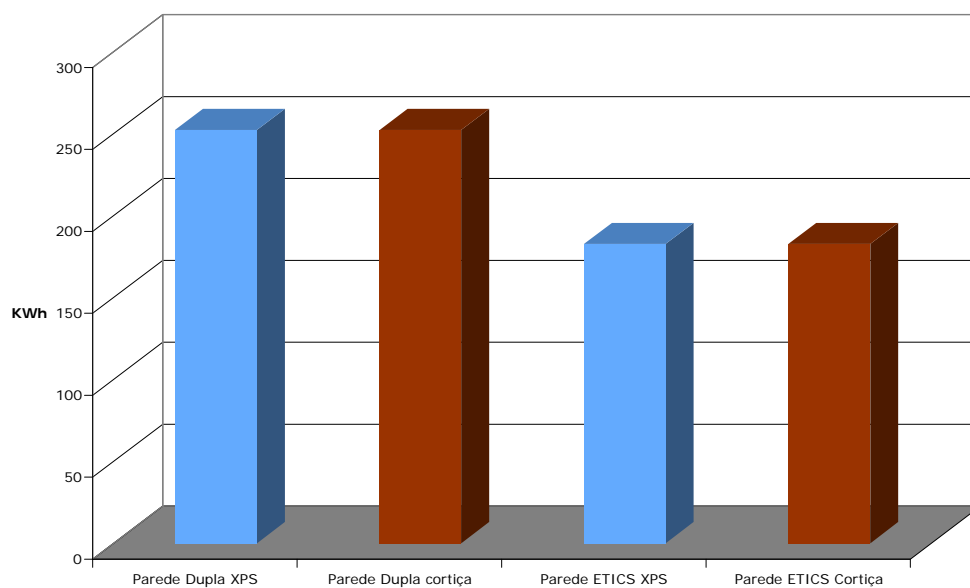


Figura 28 - Energia consumida em cada uma das soluções

A solução ETICS com isolamento térmico é a mais eficiente, o que se explica pelo menor coeficiente de transmissão térmica desta parede quando comparado com a solução tradicional (figura 29).

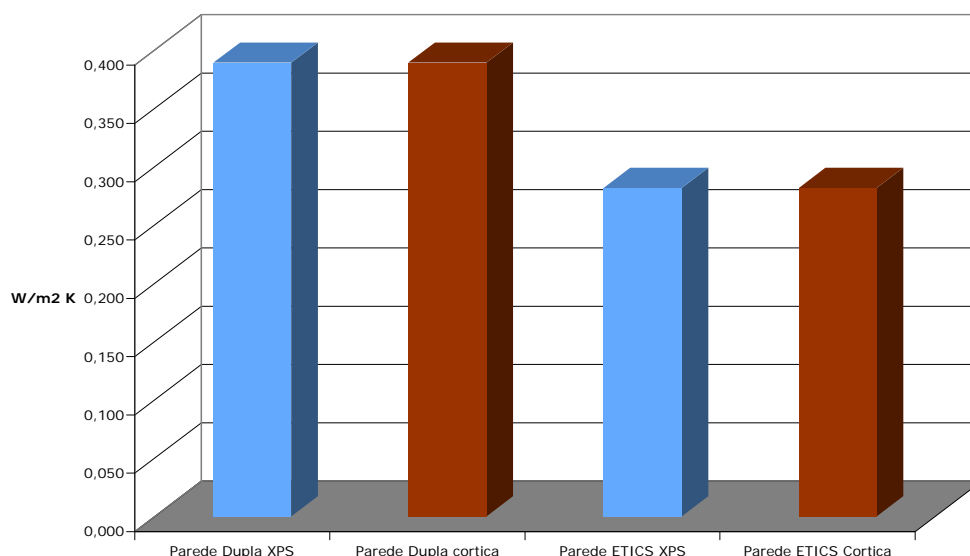


Figura 29 - Valores do coeficiente de transmissão térmica

Mais uma vez, e à semelhança do que já foi feito para os materiais de isolamento no ponto anterior, realizou-se uma avaliação destas quatro soluções alternativas segundo os critérios ambientais definidos no capítulo 3. As tabelas 29 a 32 apresentam o resultado dessa avaliação.

Tabela 29 - Resultados da avaliação para uma parede dupla com isolamento de poliestireno extrudido

Critérios	Pontos
Desempenho energético	0
Consumo de materiais	3
Materiais locais	0
Materiais reciclados e renováveis	3
Materiais certificados ambientalmente e materiais de baixo impacto	0
Substâncias com potencial de aquecimento global e afectação da camada de ozono	0
Emissão de substâncias nocivas para a saúde dos ocupantes	5
Durabilidade	5
Total	16

Tabela 30 - Resultados da avaliação para uma parede dupla com isolamento de cortiça

Critérios	Pontos
Desempenho energético	3
Consumo de materiais	3
Materiais locais	3
Materiais reciclados e renováveis	3
Materiais certificados ambientalmente e materiais de baixo impacto	3
Substâncias com potencial de aquecimento global e afectação da camada de ozono	0
Emissão de substâncias nocivas para a saúde dos ocupantes	5
Durabilidade	5
Total	25

Tabela 31 - Resultados da avaliação de uma parede ETICS com isolamento de poliestireno extrudido

Critérios	Pontos
Desempenho energético	3
Consumo de materiais	5
Materiais locais	0
Materiais reciclados e renováveis	3
Materiais certificados ambientalmente e materiais de baixo impacto	0
Substâncias com potencial de aquecimento global e afectação da camada de ozono	0
Emissão de substâncias nocivas para a saúde dos ocupantes	5
Durabilidade	5
Total	21

Tabela 32 - Resultados da avaliação para uma parede ETICS com isolamento de cortiça

Critérios	Pontos
Desempenho energético	5
Consumo de materiais	3
Materiais locais	3
Materiais reciclados e renováveis	3
Materiais certificados ambientalmente e materiais de baixo impacto	3
Substâncias com potencial de aquecimento global e afectação da camada de ozono	0
Emissão de substâncias nocivas para a saúde dos ocupantes	5
Durabilidade	5
Total	27

Na figura 30 é possível ver o resumo dos resultados globais da avaliação para as quatro soluções em estudo.

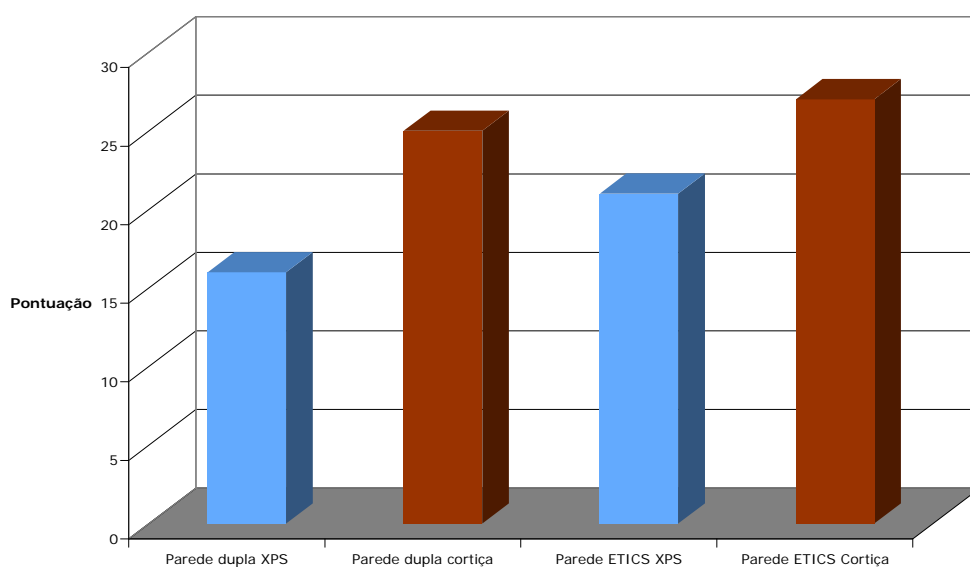


Figura 30 - Resultados da avaliação segundo os critérios ambientais definidos no capítulo 3.

Os resultados permitem concluir que o sistema ETICS é uma solução mais adequada do ponto de vista ambiental reduzindo o consumo de energia do edifício, consumindo menos material e gerando menores quantidades de resíduos. A cortiça apresenta-se como uma alternativa ao poliestireno extrudido, tratando-se de um material natural de fonte renovável pois garante um desempenho energético semelhante.

Mesmo no caso de uma parede dupla com caixa de ar, a utilização da cortiça melhora significativamente o desempenho desta solução, quando comparada com o poliestireno extrudido.

6 Conclusões

Depois de introduzidos os conceitos gerais de sustentabilidade e, em particular, da construção sustentável, estabeleceram-se um conjunto de dez critérios para a selecção de materiais para a construção sustentável, através da consulta de diversas fontes.

Nos últimos anos foram desenvolvidos programas que tentam aplicar esses critérios na classificação de edifícios e na selecção de materiais, tendo sido analisados alguns dos mais utilizados a nível mundial.

A maior parte dos programas disponíveis e mais utilizados, tanto no contexto norte-americano como no contexto europeu, destinam-se sobretudo à avaliação das escolhas efectuadas para um projecto específico. Muitas destas ferramentas não se destinam a efectuar comparações de desempenho ambiental de materiais que não estão enquadrados no projecto de um edifício. Existem algumas excepções, como é o caso do programa BEES. No entanto neste caso, bem como em outras ferramentas semelhantes, o problema consiste na escassa base de materiais disponível para selecção, o que limita a escolha e impede a sua utilização no estudo de casos, como o realizado no âmbito deste trabalho. Em alguns destes programas o utilizador pode inserir novos materiais e produtos, no entanto o processo é sempre moroso e complexo. Em algumas situações, tal como no caso específico aqui abordado, não é possível encontrar produtos considerados alternativos. A cortiça é um bom exemplo disso, o que se compreende se considerarmos que é um material esquecido ou pouco utilizado na construção, nomeadamente em países como os Estados Unidos ou na maior parte dos países europeus.

Os guias de produtos ecológicos testados também não se apresentaram como uma alternativa verdadeiramente eficiente, porque não permitem realizar comparações directas entre vários materiais, limitando-se a fornecer informação sobre alguns produtos e fabricantes.

Para além do exposto anteriormente, estas ferramentas apresentam ainda como outra limitação o facto de estarem condicionadas aos materiais mais utilizados no país de origem, fruto das diferenças climáticas e da indústria de cada país.

No entanto, a metodologia empregada nestes programas pode ser adaptada aos critérios definidos neste estudo, podendo ser colocado em prática um sistema de classificação.

As bases de dados do programa BEES e SimaPro em conjunto com a informação do guia GreenSpec Guide serviram para realizar um estudo comparativo das emissões ambientais, energia incorporada e desempenho dos materiais do estudo de caso. Estes resultados permitiram a obtenção da informação necessária para aplicar um dos sistemas de classificação estudados (sistema LiderA) aos quatro materiais de isolamento.

O sistema português LiderA é muito semelhante no seu princípio ao sistema LEED, destinando-se à classificação de edifícios numa fase avançada do projecto ou já construídos. Verificou-se ser possível relacionar os critérios do programa LiderA com os critérios definidos no capítulo 3, realizando-se uma avaliação dos materiais estudados. Nesta avaliação a cortiça revelou-se como uma alternativa interessante aos materiais convencionais para isolamento térmico.

Após esta avaliação dos materiais de isolamento, realizou-se um estudo comparativo entre uma parede dupla com isolamento na caixa de ar e uma parede ETICS, onde, para cada caso foram analisados dois materiais de isolamento: o poliestireno extrudido e o aglomerado de cortiça. A lã de rocha não foi testada porque se trata de um material pouco utilizado na construção em Portugal, enquanto no caso do poliestireno expandido a semelhança era grande com o poliestireno extrudido. Os resultados confirmam os obtidos na análise dos materiais, ficando demonstrado que a cortiça melhora o índice de sustentabilidade dos dois tipos de paredes, apresentando-se como uma alternativa válida quando comparada com o poliestireno extrudido.

Este estudo indica que a utilização de materiais naturais no isolamento dos edifícios contribui para um igual conforto térmico, melhorando simultaneamente o seu desempenho ambiental.

É por isso importante a divulgação destes materiais juntos dos construtores, arquitectos e outros técnicos ligados à indústria da construção. Cada vez mais os clientes dão importância às questões da sustentabilidade dos edifícios durante o seu ciclo de vida e, por isso a utilização de materiais com melhor desempenho ambiental começa a ser visto como uma mais valia, mesmo que o custo inicial seja superior. Um dos motivos da resistência do sector imobiliário à utilização de materiais mais ecológicos está relacionado com a ideia de que são mais caros e menos eficazes, o que não corresponde à realidade. Muitos materiais, como é o caso da cortiça, levam a uma economia idêntica no consumo energético do edifício vantagens do ponto de vista ambiental, como foi demonstrado, o que compensa um custo actual superior deste material face às soluções mais divulgadas (poliestireno).

No entanto, o que ressalta como particular evidência deste exercício de avaliação sobre a selecção de materiais é a necessidade de desenvolvimento de uma ferramenta adaptada à realidade climática e industrial portuguesa que, apoiada por uma extensa base de materiais, permita a arquitectos, construtores e investigadores obter informação energética e ambiental (em termos comparativos) sobre diferentes produtos e materiais, logo na fase de projecto.

7 Referências

7.1. Referências Bibliográficas

Australian Greenhouse Office, Department of Environment and Heritage, "Scoping Study to Investigate Measures for Improving the Environmental Sustainability of Building Materials", Centre of Design at RMIT University, Melbourne, 2006.

Barros, J., "Construção II", Curso de arquitectura da Universidade Lusíada, Porto, 2001.

Borg, M., "Environmental Assessment of Materials Components and Buildings", Doctoral Thesis, Kungl Tekniska Hogskolan, 2001

Camões, A., Jalali, S., Peyroteo, A., "Lightweight concrete for pavement leveling using rubber particles from used tyres", Waste recycling, Minerals and Energy Economy Research Institute, 2005.

Cib Working Comission W82 "Sustainable Development and the Future of Construction", CIB , 1998.

Cole, Raymond J., "Emerging trends in building environmental assessment methods", Building Research & Information n° 26 pp. 3 – 16, Routledge, 1998.

Cole, Raymond J., Building environmental assessment methods: assessing construction practices", Construction Management and Economics n° 18 pp. 949 – 957, Routledge, 2000.

Cole, Raymond J.; Larsson, Nils K., "GBC '98 and GBTool: background", Building Research & Information n° 27 pp.221 – 229, Routledge, 1999.

Crawley, Drury; Aho, Ilari, "Building environmental assessment methods: applications and development trends", Building Research & Information n° 27 pp. 300 – 308, Routledge, 1999.

Curran, Mary A., "Life Cycle Assessment and Practice", National Risk Management Research Laboratory Cincinnati Ohio, 2006.

Davis, G.; Hickox, W., "A Technical Manual for Material Choices in Sustainable Construction", State of California, Integrated Waste Management Board, 2000.

, Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril, Diário da República I Série – A, 2006.

Ding, G. K. C., "The development of a multi-criteria approach for the measurement of sustainable performance for built projects and facilities", Tese Doutoramento, University of Technology, Sidney, 2004.

Ding, Grace K.C., "Sustainable construction— the role of environmental assessment tools", Journal of Environmental Management, Elsevier, 2007.

Diógenes, R. L., "Análise do Ciclo de Vida de Edificações Residenciais", Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, 2006.

Eires R., Nunes J. P., Figueiro R., Jalali S., Camões A., "New Eco-friendly Hybrid Composite Materials for Civil Construction", Proceedings of European Conference on Composites Materials, Repositorium Universidade do Minho, 2006.

EOTA, "External Thermal Insulation Composite Systems with Rendering", ETAG 004", Guideline For European Technical Approval, European Organisation for Technical Approvals, 2003.

Ferreira, J.V.R., "Análise de Ciclo de Vida dos Produtos", Instituto Politécnico de Viseu, 2004.

Fowler, K.M.; Rauch, E.M., "Sustainable Building Rating Systems Summary", Pacific Northwest National Laboratory, U.S. Department of Energy, 2006.

Gu, Zhenhong; Wennersten, Ronald; Assefa, Getachew, "Analysis of the most widely used Building Environmental Assessment methods", Environmental Sciences n° 3 pp. 175 – 192, Taylor & Francis, 2006.

Halada, K., "Progress of Ecomaterials Toward a Sustainable Society", em Solid State and Materials Science n°7, Elsevier, 2003.

Hill, Richard C.; Bowen, Paul A., "Sustainable construction: principles and a framework for attainment", Construction Management and Economics n° 15 pp. 223 – 239, Routledge, 1997.

Jalali S., Eires R., "Materiais não convencionais para uma construção sustentável: sistema de bioconstrução reforçada com fibras de celulose", Proceedings of International Congress Energy and Environment Engineering and Management, Repositorium Universidade do Minho, 2005.

Jesus, L. N., Almeida, M. G. e Almeida, A. C., "Methodology for the application of sustainable construction", em Proceedings of Sustainable Construction - Materials and Practices, Ed. L. Bragança et al., Lisbon, IOS press, 2007.

Kibert, Charles J., "Proceedings on the 1st International Conference on Sustainable Construction", University of Florida, Center for Construction, 1994.

Kibert, Charles J., "Sustainable Construction Green Building Design and Delivery", Wiley, 2005.

Kohler, Niklaus, "The relevance of Green Building Challenge: an observer's perspective", Building Research & Information n° 27 pp. 309 - 320, Routledge, 1999.

Kohler, Niklaus; Lutzkendorf, Thomas, "Integrated life-cycle analysis", Building Research & Information n° 30 pp. 338 – 348, Routledge, 2002.

Landman, M., "Breaking through the Barriers to Sustainable Building", 1999.

Mateus, R.; Bragança, L., "Tecnologias Construtivas para a Sustentabilidade da Construção", Edições Ecopsy, 2006.

Mourão, J. E Pedro, J. B., "Sustainable Housing: from consensual guidelines to broader challenges" , em Proceedings of Sustainable Construction - Materials and Practices, Ed. L. Bragança et al., Lisbon, IOS press, 2007.

Nações Unidas, "Report of the World Commission on Environment and Development – Our Common Future", Publicação n° 225, Nações Unidas, 1987.

Papadopoulos, A.M., "State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments", Energy and Buildings n° 37 pp. 77–86, Elsevier, 2005.

Papadopoulos, A.M.; Giama, E., "Environmental performance evaluation of thermal insulation materials and its impact on the building", Building and Environment n° 42 pp. 2178–2187, Elsevier, 2007.

Paulsen, J., "Life Cycle Assessment for Building Products", Doctoral Thesis, Kungl Tekniska Hogskolan, 2001.

Pinheiro, M. D., "The portuguese LiderA system - from assessment to sustainable management?", em Proceedings of Sustainable Construction - Materials and Practices, Ed. L. Bragança et al., Lisbon, IOS press. 2007.

PRe Consultants, "Introduction to LCA with SimaPro 7", PRé Consultants, 2007.

Pulselli, R. M., Simoncini, E., Pulselli, F. M., Bastianoni, S., "Emergy analysis of building manufacturing, maintenance and use: Em-building indices to evaluate housing and sustainability", Energy and Building, n°39 , Elsevier, 2007.

Pulselli, R.M.; Simoncini, E.; Pulselli, F.M.; Bastianoni, S., "Emergy analysis of building manufacturing, maintenance and use: Em-building indices to evaluate housing sustainability", Energy and Buildings n° 39 pp. 620–628, Elsevier, 2007.

Raymond J. Cole, "Building environmental assessment methods: redefining intentions and roles", Building Research & Information n° 33 pp. 455 – 467, Routledge, 2005.

Rydh, Carl J.; Sun, Mingbo, Life cycle inventory data for materials grouped according to environmental and material properties", Journal of Cleaner Production n° 13 pp. 1258-1268, Elsevier, 2005.

Selih, J., "Promoting the environmental management systems into construction industry: the first step", em Proceedings of Sustainable Construction - Materials and Practices, Ed. L. Bragança et al., Lisbon, IOS press, 2007.

Selih, J.; Sousa, A. C. M., "Life cycle assessment of construction processes", em Proceedings of Sustainable Construction - Materials and Practices, Ed. L. Bragança et al., Lisbon, IOS press, 2007.

Sjostrom, Christer; Bakens, Wim, "CIB Agenda 21 for sustainable construction: why, how and what", Building Research & Information n° 27 pp. 347 – 353, Routledge, 1999.

Spence, Robin; Mulligan, Helen, "Sustainable Development and the Construction Industry", Habitat Intl. Vol. 19, No. 3, pp. 279-292, Pergamon, 1995.

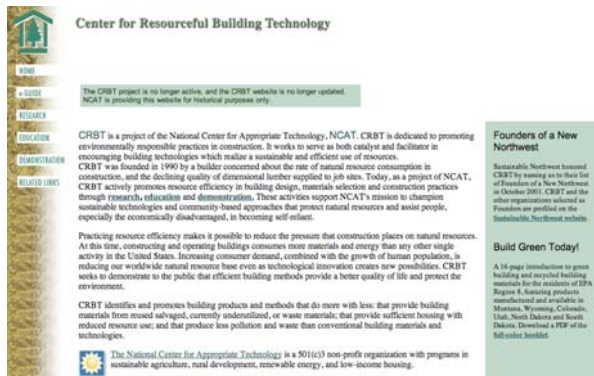
Todd, Joel Ann; Crawley, Drury; Geissler, Susanne; Lindsey, Gail, "Comparative assessment of environmental performance tools and the role of the Green Building Challenge", Building Research & Information n° 29 pp. 324 – 335, Routledge, 2001.

Wilson, A., "Building Materials: What Makes a Product Green", Artigo n°1, Volume 9, BuildingGreen, Inc., 2006.

Wilson, A.; Piepkorn, M., "Green Building Products, the Green Spec Guide to Residential Building Materials", BuildingGreen, New Society Publishers, 2005.

Yoders, Jeff, "To LEED, or not to LEED", Building Design & Construction n°46 pp. 40-47, ABI/INFORM Global, 2005.

7.2. Páginas da Internet



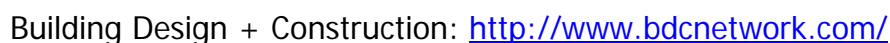
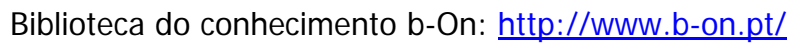
CRBT Center for Resourceful Building Technology: <http://www.crbt.ncat.org/>



e-House Lab for living: <http://www.michaelmcdonough.com/ehouse/>



GreenBuild – Chicago: <http://www.greenbuildexpo.org/>

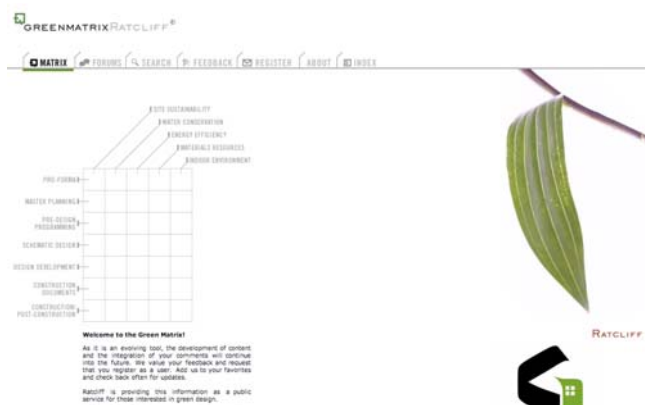




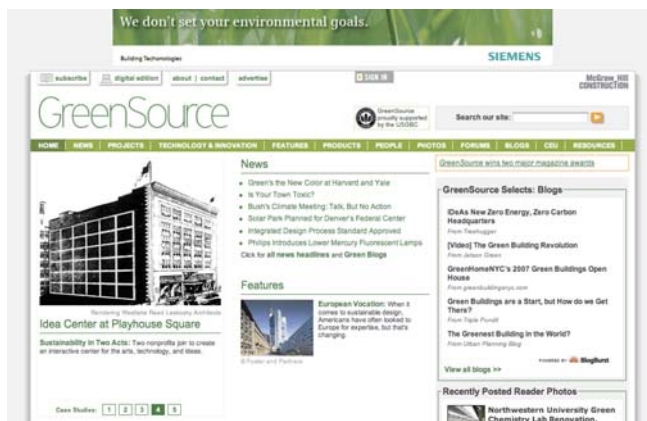
Kibert: Student Website: <http://eu.wiley.com/WileyCDA>



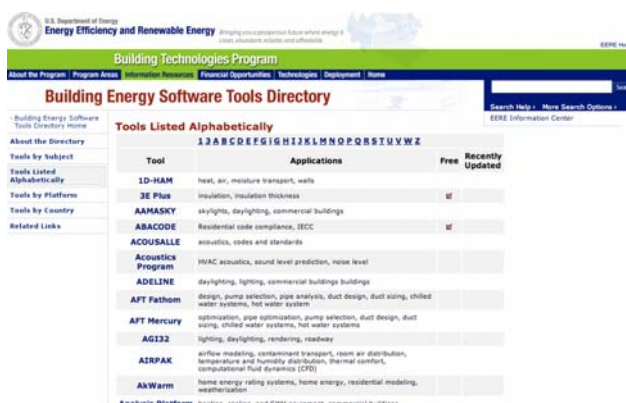
Greening the building life cycle: <http://buildlca.rmit.edu.au/menu10.html>



Green Matrix: <http://www.greenmatrix.net/>



Green Source: <http://greensource.construction.com/>



U. S. Department of Energy: <http://www.eere.energy.gov/>



European Environment Agency: <http://www.eea.europa.eu/>